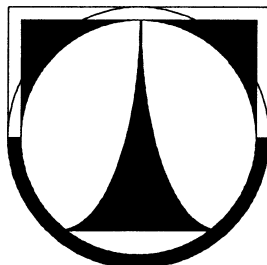


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**SIMULACE JÍZDNÍCH EMISNÍCH CYKLŮ PRO
KLASICKÉ VOZIDLO A HYBRIDNÍ VOZIDLO**

**SIMULATION OF EMISSION TEST CYCLES FOR
CONVENTIONAL VEHICLES AND HYBRID VEHICLES**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

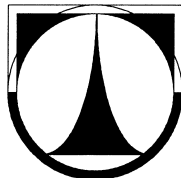
Lukáš Mikulanin

2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor 2301R022

Stroje a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

**SIMULACE JÍZDNÍCH EMISNÍCH CYKLŮ PRO KLASICKÉ
VOZIDLO A HYBRIDNÍ VOZIDLO**

**SIMULATION OF EMISSION TEST CYCLES FOR CONVENTIONAL
VEHICLES AND HYBRID VEHICLES**

Bakalářská práce

KVM – BP – 209

Lukáš Mikulanin

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Brabec, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.

Počet stran: 62

Počet obrázků: 14

Počet příloh: 9

Počet výkresů: 0

2011

Simulace jízdních emisních cyklů pro klasické vozidlo a hybridní vozidlo

ANOTACE

V první části se práce zabývá problematikou hybridních vozidel, popisuje historické pozadí vývoje a jednotlivá uspořádání a koncepce hybridních pohonů u automobilů. V další části popisuje tvorbu programu pro výpočet dynamických vlastností vozidla a spotřeby paliva při jízdních cyklech NEFZ 2000 a FTP 75. V poslední části nabízí porovnání z hlediska úspory paliva mezi stupni hybridizace Micro a Mild Hybrid.

Klíčová slova: hybridní, automobil, dynamické, vlastnosti, jízdní, cyklus, NEFZ, FTP 75, výpočet, spotřeba paliva, produkce CO₂, Micro Hybrid, Mild Hybrid

Simulation of Emission Test Cycles for Conventional Vehicles and Hybrid Vehicles

ANNOTATION

In the first part this work is focused on the problematic of hybrid vehicles. It describes historical facts of their development, engineering solutions and the concept of hybrid automobiles. In following part, this work describes the evolution of creating the program, for calculating dynamic characteristics and fuel consumption during testing cycles NEFZ 2000 and FTP 75. In the last part, the work presents a comparison of fuel economy between the degrees of hybridization Micro and Mild.

Key words: hybrid, vehicles, dynamic, characteristics, testing, cycle, NEFZ, FTP 75, calculation, fuel consumption, production of carbon dioxide, Micro Hybrid, Mild Hybrid

Desetinné třídění: (př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)
Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno : 2011
Archivní označení zprávy: (nevypĺňovat)

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....
podpis

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Brabcovi Ph.D., za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce a konzultantovi Prof. Ing. Celestýnu Scholzovi, Ph.D..

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za důležitou podporu, kterou mi poskytovali během studia.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A JEDNOTEK	10
SEZNAM OBRÁZKŮ	12
SEZNAM TABULEK.....	12
1 ÚVOD	13
2 HYBRIDNÍ VOZIDLA	14
2.1 ZÁKLADNÍ PROBLEMATIKA.....	14
2.2 HISTORIE HYBRIDNÍCH VOZIDEL	16
2.3 ROZDĚLENÍ HYBRIDNÍCH POHONŮ DLE TOKU VÝKONU	19
SÉRIOVÉ USPOŘÁDÁNÍ	19
PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ	21
KOMBINOVANÉ USPOŘÁDÁNÍ.....	22
2.4 ROZDĚLENÍ HYBRIDNÍCH VOZIDEL DLE STUPNĚ HYBRIDIZACE.....	23
MICRO HYBRID.....	23
MILD HYBRID	23
<i>Muscle Hybrid</i>	24
FULL HYBRID	25
PLUG-IN HYBRID	26
3 TVORBA PROGRAMU	27
<i>Cíl programu:</i>	27
3.1 ZADÁVACÍ TABULKY	27
3.2 DYNAMICKE VLASTNOSTI	29
<i>Cíl výpočtů:</i>	29
<i>Nahrazení otáčkové charakteristiky polynomem:</i>	29
<i>Výpočet hodnot pro určení dynamických charakteristik</i>	30
<i>Jízdní odpory:</i>	31
<i>Dynamické charakteristiky:</i>	35
3.3 SIMULACE JÍZDNÍCH CYKLŮ NEFZ 2000 A FTP75	37
<i>Cíl výpočtů:</i>	37
<i>Nahrazení zatěžovací charakteristiky funkcí:</i>	37
SIMULACE NEFZ 2000	40
<i>Výpočet spotřeb paliva a produkce CO₂:</i>	44
SIMULACE FTP 75	46

3.4 HYBRIDNÍ ÚPRAVY VOZIDLA.....	46
MICRO HYBRID.....	46
<i>Dynamické charakteristiky vozidla:</i>	<i>47</i>
<i>Simulace jízdních cyklů NEFZ 2000 a FTP75:</i>	<i>47</i>
MILD HYBRID	47
<i>Dynamické charakteristiky vozidla:</i>	<i>48</i>
<i>Simulace jízdních cyklů NEFZ 2000 a FTP75:</i>	<i>49</i>
3.5 SOUHRN VÝSLEDNÝCH HODNOT.....	50
<i>Dynamické charakteristiky vozidla:</i>	<i>50</i>
<i>Simulace jízdních cyklů NEFZ 2000 a FTP 75.....</i>	<i>50</i>
3.6 OVLÁDACÍ PRVKY PROGRAMU.....	52
4. UŽITÍ PROGRAMU PRO DANÉ VOZIDLO	53
4.1 PARAMETRY VOZIDLA	53
4.2 VÝSLEDNÉ HODNOTY NEFZ 2000.....	54
RESUMÉ VÝSLEDKŮ NEFZ 2000.....	54
<i>Klasická koncepce vozidla.....</i>	<i>54</i>
<i>Vozidlo s úpravou Micro Hybrid (Start & stop).....</i>	<i>54</i>
<i>Vozidlo s úpravou Mild Hybrid.....</i>	<i>55</i>
4.3 VÝSLEDNÉ HODNOTY FTP 75.....	56
RESUMÉ VÝSLEDKŮ FTP 75.....	56
<i>Klasická koncepce vozidla.....</i>	<i>56</i>
<i>Vozidlo s úpravou Micro Hybrid (Start & stop).....</i>	<i>56</i>
<i>Vozidlo s úpravou Mild Hybrid.....</i>	<i>57</i>
4.4 POROVNÁNÍ HYBRIDNÍCH ÚPRAV	59
5. ZÁVĚR	60
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
ZDROJE OBRÁZKŮ	61
SEZNAM PŘÍLOH.....	62

Seznam symbolů a jednotek

a	zrychlení vozidla	$[\text{m/s}^2]$
c_x	součinitel odporu vzduchu	[1]
D	dynamický činitel	[1]
G	tíhová síla vozidla	[N]
g	gravitační zrychlení	$[\text{m/s}^2]$
f	součinitel odporu valení	[1]
F_k	hnací síla	[N]
i_n	převodové číslo n-tého rychlostního stupně	[1]
i_s	převodové číslo stálého převodu	[1]
J_k	moment setrvačnosti kol	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
J_m	setrvačný moment motoru	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
M_p	spotřeba paliva	$[\text{l/h}, \text{l/s}]$
M_k	moment na kole	[Nm]
M_t	moment motoru	[Nm]
m_{CO_2}	hmotnost vyprodukovaného CO_2	$[\text{kg}, \text{lb}]$
m_p	hmotnost paliva	$[\text{kg}, \text{lb}]$
m_{pod}	jízdní spotřeba paliva	$[\text{l}/100\text{km}, \text{MPG}]$
m_{pCO_2}	jízdní produkce CO_2	$[\text{gCO}_2/\text{km}, \text{gCO}_2/\text{míle}]$
m_v	hmotnost vozidla	[kg]
m_{vmild}	navýšení hmotnosti vozidla	[kg]
n	otáčky	$[\text{1}/\text{min}]$
n_m	otáčky motoru	$[\text{1}/\text{min}]$
n_k	otáčky kola	$[\text{1}/\text{min}]$
O_a	odpor stoupání	[N]
O_f	odpor valení	[N]
O_s	odpor setrvačnosti	[N]
O_v	odpor vzduchu	[N]
P_e	efektivní výkon	[kW]
p_e	střední efektivní tlak	$[\text{bar}, \text{Mpa}]$
P_{el}	výkon elektromotoru	[kW]
r_k	poloměr kol	[m]

s	stoupání vozidla; dráha	[%; °; m, km]
S_x	velikost čelní plochy vozidla	[m ²]
v	rychlost vozidla	[m/s, míle/h, m/s]
v_v	rychlost větru	[m/s]
V_p	objem spotřebovaného paliva	[l, galon]
V_z	zdvihový objem motoru	[dm ³]
α	stoupání vozovky	[°]
η_{mech}	mechanická účinnost přenosu energie	[1]
ζ	součinitel vlivu rotačních hmot	[1]
ρ_p	hustota paliva	[kg·m ⁻³]
ρ_{vz}	hustota vzduchu	[kg·m ⁻³]

Seznam obrázků

OBR. 1, LOHNER PORSCHE (1903) [1].....	16
OBR. 2, AUDI DUO III (1997) [2]	18
OBR. 3, TOYOTA PRIUS (1997) [3]	18
OBR. 4, SCHÉMA SÉRIOVÉHO HYBRIDU	19
OBR. 5, SCHÉMA PARALELNÍHO HYBRIDU	21
OBR. 6, SCHÉMA KOMBINOVANÉHO HYBRIDU	22
OBR. 7, BMW 7 ACTIVEHYBRID [4].....	24
OBR. 8, POHONNÁ JEDNOTKA VOZIDLA TOYOTA PRIUS [5]	25
OBR. 9, HNACÍ CHARAKTERISTIKA	35
OBR. 10, DYNAMICKÁ CHARAKTERISTIKA.....	36
OBR. 11, GRAF ZÁVISLOSTI ZRYCHLENÍ A STOUPÁNÍ NA RYCHLOSTI	36
OBR. 12, GRAF NEFZ 2000	40
OBR. 13, GRAF FTP 75	46
OBR. 14, HNACÍ CHARAKTERISTIKA MILD HYBRIDU [6]	48

Seznam tabulek

TAB. 1, HMOTNOSTI UHLÍKU V 1 KG DANÉ LÁTKY	45
TAB. 2 A TAB. 10, POROVNÁNÍ HYBRIDNÍCH ÚPRAV	59

1 Úvod

Jmenuji se Lukáš Mikulanin a chtěl bych Vás seznámit se svým tématem bakalářské práce, Simulace jízdních emisních cyklů pro klasické vozidlo a hybridní vozidlo. Toto téma jsem si vybral, protože se zajímám o nové technologie v automobilové dopravě a téma hybridních vozidel je v současné době velmi aktuální.

V první části práce se budu zabývat popisem všeobecné problematiky hybridních vozidel. Stručně zde zmíním historická fakta vývoje. Srozumitelně popíši jednotlivá rozdělní hybridní vozidel a doložím je názornými obrázky.

V další části se důsledně zaměřím na vývoj programu. Bude vytvořen jednak pro určení dynamických vlastností vozidla a jednak pro zjednodušený výpočet spotřeby paliva při jízdních emisních cyklech, evropském NEFZ 2000 a americkém FTP 75. Program jsem vytvořil tak, aby fungoval univerzálně pro jakékoliv vozidlo s klasickou koncepcí a pro jeho následné úpravy na Micro Hybrid a Mild Hybrid. Popíši zde, jaké vztahy, řešení, nápady a principy jsem při jeho tvorbě uplatnil.

V závěrečné části práce budu demonstrovat programem vypočtené hodnoty pro vůz Škoda Fabia první generace 1.2 HTP, 40 kW. Provedu zde resumé výsledků jednotlivých testů, jejichž podrobné výsledkové tabulky jsou k nalezení v příloze. Uvedu zde také srovnání procentuální úspory paliva vozidla s klasickou koncepcí i s jeho výše zmíněnými úpravami.

Hned v úvodu si položím několik otázek, na které budu hledat odpověď.

Víte, v jakém roce bylo postaveno první hybridní vozidlo opatřené spalovacím motorem a elektromotorem? Co znamenají označení Micro, Mild, Full a Plug-in? Kolik procent paliva uspoří systém start & stop? Mají hybridní vozidla ve všech případech menší spotřebu než vozidla s klasickou koncepcí?

2 Hybridní vozidla

2.1 Základní problematika

Klasická koncepce pohonu osobního automobilu, kde je výkon ze spalovacího motoru přenášen přes převodovou skříň a rozvodovku na hnací nápravu, dosahuje po více než 100 letech technického vývoje značných úspěchů a kvalit. Má vysoký měrný výkon hnací jednotky umožňující velmi dobré dynamické vlastnosti a akceleraci. Má dobré hmotnostní parametry a vysokou hustotu výkonu [kW/kg]. Způsob doplňování uhlovodíkových paliv je jednoduchý, rychlý a bezpečný. Vlastnosti těchto vozidel se staly standardem pro porovnávání s jinými pohony vozidel.

Provoz automobilu s klasickým pohonem produkuje škodliviny jako: oxid uhelnatý (CO), oxid uhličitý (CO₂), oxidy dusíku (NO_x), nespálené uhlovodíky (HC) a pevné částice, které mají negativní dopad na znečištění životního prostředí. Proto se v dnešní době snaží vlády jednotlivých zemí tlačit výrobce automobilů ke snížení emisí, tedy škodlivých látek, vznikajících při spalování uhlovodíkových paliv.

Řešením by tedy mohlo být vozidlo s čistě elektrickým pohonem tzv. ZEL (Zero Emission Level), které používá jako zásobník energie akumulátor. Hlavní výhodou takového elektromobilu je, že při jeho provozu nejsou produkovány žádné emise a při jízdě nevzniká vysoká hladina hluku. Nevýhodou těchto vozidel je velmi nízká hustota výkonu [kW/kg] a hustota energie [Wh/dm³] akumulátoru. Důsledkem toho těžké a rozměrné akumulátory zvyšují hmotnost vozidla, což negativně působí na dynamické vlastnosti. Také komfort cestujících je omezen zástavovým prostorem, který je nutný pro uložení akumulátoru. Nabíjení akumulátorů je zdlouhavější než tankování uhlovodíkového paliva.

Pokud se ovšem na věc podíváme komplexněji, zjistíme, že při produkování energie do akumulátoru, jejich výrobě a recyklaci vzniká podobné znečištění jako při provozu klasického vozidla. Za posledních 10 let postoupil vývoj elektrochemických zásobníků energie kupředu, avšak stále jsou elektromobily nesrovnatelné s klasickými automobily. Tudíž samotný elektrický pohon v současnosti nepředstavuje nikterak uspokojivé řešení.

Zde ovšem přichází prostor pro vozidla s hybridním pohonem.

Co je to ale hybridní pohon? Význam slova *hybrid* je kříženec nebo míšenec. *Hybridní* znamená vzniklý křížením nebo míšením.

Hybridním pohonem se tedy rozumí takový pohon, na kterém se podílí více než jedna hnací jednotka, bez ohledu na to, jaký druh energie používá.

Účelný hybridní pohon je takový pohon, který kombinuje dvě a více hnacích jednotek tak, aby při různých jízdních režimech vozidla, převládaly specifické výhody jednotlivé hnací jednotky.

V současnosti jsou testovány tyto typy hybridních pohonů:

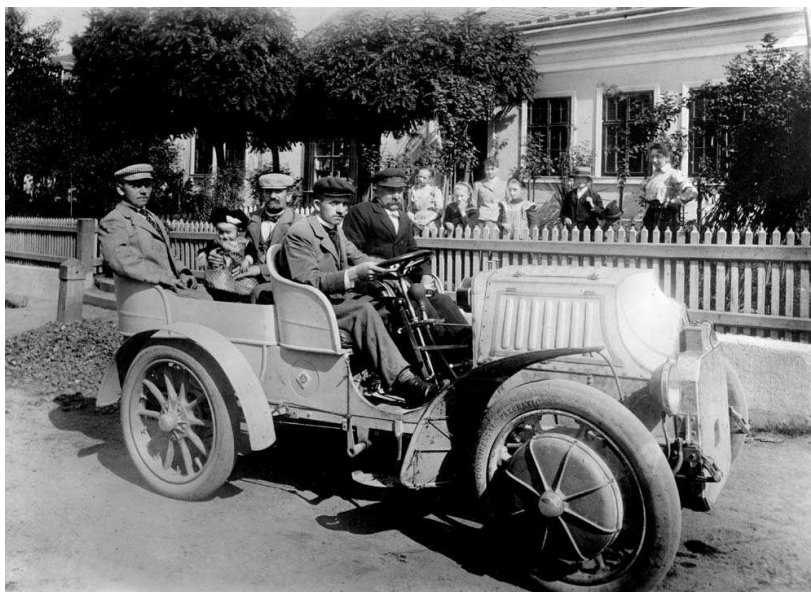
- Spalovací motor + elektromotor (generátor) + akumulátor
- Spalovací motor + elektromotor (generátor)
- Spalovací motor + setrvačnick
- Plynová turbína + elektromotor (generátor) + akumulátor

Pro automobilový průmysl, je v současné době nejvýhodnější kombinace motoru a elektromotoru, přičemž elektromotor může pracovat obousměrně. Buď jako motor, kdy převádí elektrickou energii na mechanickou, nebo jako generátor kdy převádí mechanickou energii na elektrickou, která je dále akumulována v baterii. Pokud má vozidlo velkou setrvačnou nebo kinetickou energii, můžeme tzv. regenerativně (rekuperativně) brzdít tak, že tuto mechanickou energii přeměníme v generátoru na elektrickou energii. V běžných vozidlech se tato mechanická energie přemění v brzdách třením na teplo.

V dnešní době je vývoj elektromobilů zaměřen spíše na vývoj hybridního pohonu motor + elektromotor, který vyplňuje prostor mezi klasickým vozidlem a elektromobilem.

2.2 Historie hybridních vozidel

Myšlenka hybridního pohonu sahá již do 19. století. Vynálezcem prvního hybridního vozidla na světě nebyl nikdo jiný než rodák z Vratislavic nad Nisou -Ferdinand Porsche, který byl ve svých 23 letech zaměstnancem rakouské společnosti Lohner, která se zabývala výrobou kočárů a povozů. Majitelem této továrny byl progresivně smýšlející Jakob Lohner, který chtěl proniknout na trh s kočáry vybavenými motorem. Porsche využil zážehový motor k pohonu dynama, nabíjejíci akumulátory, které dodávaly energii elektromotorům (výkonu 4 k, krátkodobě až 7 k) umístěných v nábojích předních kol. Jednalo se v podstatě o sériový hybrid. Tak vznikl první hybridní automobil Lohner-Porsche, který na výstavě v Paříži v roce 1900 způsobil skutečnou senzaci. Modernizovaná verze Mixte z roku 1903 měla elektromotory umístěné v nábojích všech 4 kol a tudíž měla pohon všech kol.



Obr. 1, Lohner Porsche (1903) [1]

V roce 1913, díky nízké ceně benzínu, postupnému zdokonalování spalovacích motorů a elektrických startérů, zahajuje Henry Ford ve Spojených státech sériovou výrobu Modelu T. V tomto roce bylo prodáno necelých 6000 elektrických vozidel, oproti 182 809 vozidlům Ford Model T. Tímto jsou alternativní pohony téměř vytlačeny, než bude jejich myšlenka po téměř půl století opět aktuální.

V roce 1915 vytvořila americká společnost Woods Motor Vehicle, systém Dual Power. Jednalo se o systém, kde při nízkých rychlostech poháněl vozidlo elektromotor a při vyšších rychlostech spalovací motor, jednalo se v podstatě o paralelní hybrid.

V druhé polovině 60. let je však ovzduší ve Spojených státech silně znečištěno rychle se rozvíjející automobilovou dopravou. V důsledku toho představuje v roce 1966 kongres zákony, které by toto znečištění měly snížit.

V roce 1965 experimentuje společnost General Motors s prototypem hybridního vozidla s označením GM 512, který je vybaven dvouválcovým motorem, elektromotorem a bateriemi. Prototyp však nezaznamená větších úspěchů.

V roce 1973 jsou Spojené státy, jakožto spojenec Izraele, zasaženy téměř půlročním ropným embargem arabských států v důsledku reakce na válečný konflikt na Sinajském poloostrově. Díky tomuto embargu prudce vzrostou ceny pohonných hmot. To se stává podnětem myšlenek a návrhů, jak snížit spotřebu vozidel.

Roku 1975 dodala společnost AM General americké poště 352 elektrických dodávek k testování.

V roce 1980 jsou některé verze Volkswagenu Polo opatřeny start & stop systémem.

V roce 1989 představuje společnost Audi experimentální vozidlo Audi Duo postavené na platformě modelu Audi 100 Avant. Zážehový spalovací motor zde pohání přední nápravu a elektromotor pohánějící zadní nápravu se při brzdění chová jako generátor nabíjející akumulátor. Při provozu spalovacího motoru zůstává zachován pohon 4 x 4.

V roce 1992 ohlásila Japonská automobilka Toyota program "Earth Charter" a zavázala se vyvíjet automobily s co nejnižšími emisemi. V tomto roce také začíná v Evropě platit emisní předpis Euro 1, který je neustále zpřísnován.

V roce 1993, za vlády Billa Clintona, je ve Spojených státech založena koalice s názvem PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles) sdružující vládní agentury a společnosti Chrysler, GM, Ford a USCAR. Cílem koalice bylo vyvíjet nové typy vozidel s alternativním pohonem pro sériovou výrobu. Výsledkem byl elektromobil, GM EV 1, který svojí konstrukcí a technologií předběhl svoji dobu. Tento projekt však skončil fiaskem, jehož hlavní důvod byl podle GM nedostatek levných akumulátorů a většina z 1 100 vyrobených vozů byla sešrotována. Dodnes se vedou vášnivé diskuze a polemiky o pravém důvodu fiaska. I přesto, že projekt, GM EV 1 selhal, automobilky nabyly mnohé důležité poznatky, které uplatňují ve vývoji vlastních hybridních vozů.

V roce 1997 představila společnost Audi model Audi Duo III, které bylo v sériové výrobě zhotoveno v 60 kusech. Jednalo se o první evropský hybridní vůz nabízený veřejnosti.



Obr. 2, Audi Duo III (1997) [2]

Rok 1997 je pro vývoj hybridních vozidel zásadním. Toyota uvedla na trh první, sériově vyráběný, hybrid na světě - Prius. Během prvního roku se prodalo více než 18 000 vozidel.



Obr. 3, Toyota Prius (1997) [3]

V roce 1999 představuje automobilka Honda dvoudveřový model Insight, první hybridní vozidlo dovážené na americký trh.

V roce 2000 vstupuje i Toyota na americký trh s čtyřdveřovým modelem Prius.

V roce 2004 získává v USA Toyota Prius cenu Auto roku 2004 udělovanou magazínem Motor Trend.

2.3 Rozdělení hybridních pohonů dle toku výkonu

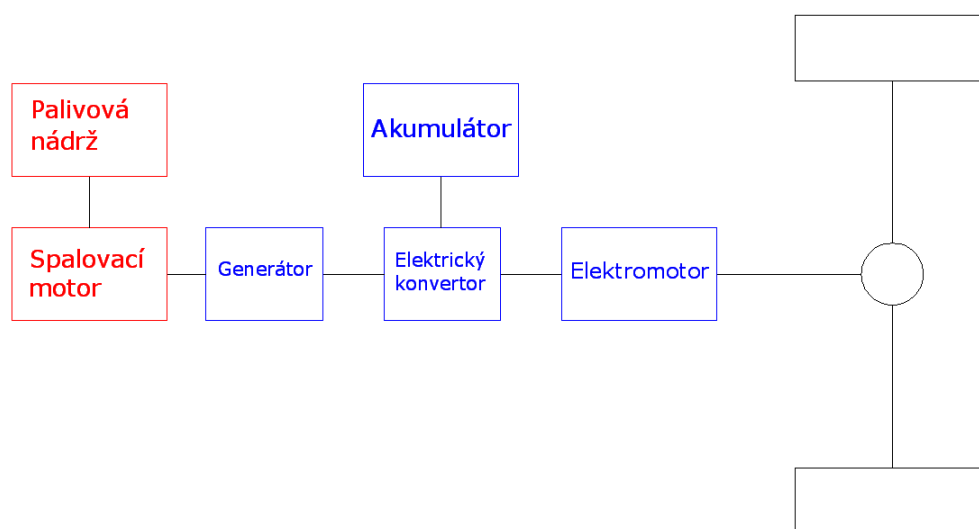
Jak již bylo zmíněno v úvodu, účelné řešení je kombinace pohonných jednotek, kde převládají specifické výhody dané jednotky při rozdílných provozních stavech. Pro automobilový průmysl takové řešení tkví ve spojení spalovacího motoru a elektromotoru.

Taková řešení můžeme rozdělit dle toku výkonu na 3 základní uspořádání hybridů:

- Sériové uspořádání
- Paralelní uspořádání
- Kombinované (smíšené) uspořádání

Sériové uspořádání

U sériového uspořádání jsou jednotlivé hnací prvky spojeny za sebou. Spalovací motor zde pohání generátor, který vytváří elektrickou energii. Generátor může mít dvě funkce. Buď může vytvořenou elektrickou energii akumulovat v bateriích nebo ji rovnou dodávat elektromotoru, spojeného s hnací nápravou pohánějícím kola vozidla.



Obr. 4, Schéma sériového hybridu

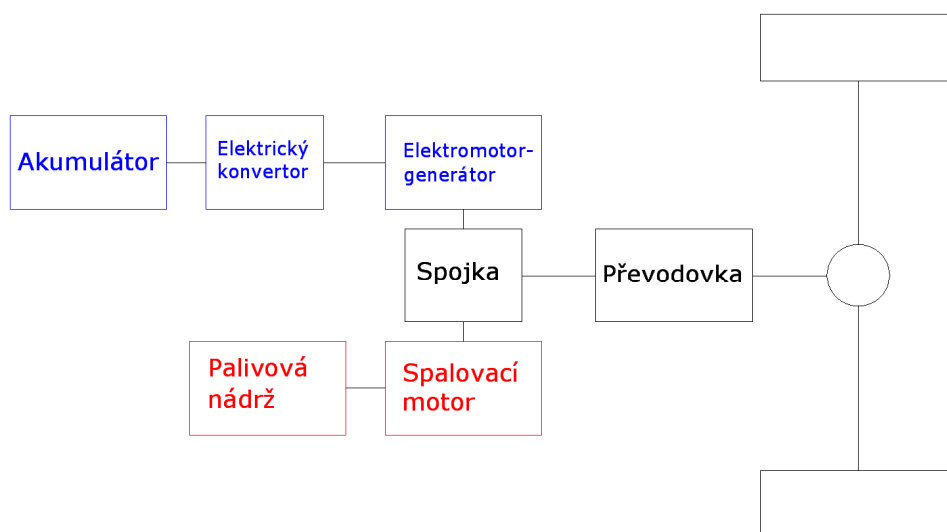
Elektromotory mohou být také umístěny v nábojích kol (relativně snadné provedení pohonu všech kol). Díky tomu se může snížit podlaha vozidla, což se hodí především u městských autobusů nebo armádních vozidel. Tímto řešením také odpadne použití diferenciálu a hnacích hřídelí, ale zvětší se neodpružené hmoty, což vede ke kon-

strukčním problémům při navrhování odpružení. Elektromotory se ve většině případech používají asynchronní. Při požadavku maximálního výkonu je elektromotoru dodávána elektrická energie jak z generátoru, tak z akumulátoru. Toto uspořádání nepotřebuje převodovku, protože elektromotor je účinný v mnohem větším rozsahu otáček, než spalovací motor. U některých sériových hybridů je možné přímé mechanické propojení mezi spalovacím motorem a hnací nápravou. Spalovací motor může být provozován pouze v úzkém rozsahu otáček nebo dokonce jen při určitých otáčkách. To s sebou nese hlavní výhodu sériového uspořádání. Otáčky spalovacího motoru nejsou závislé na otáčkách kol. Odpadají tedy nevhodné režimy, jako je volnoběh nebo spodní rozsah částečných zatížení. Důsledkem toho je spalovací motor provozován v režimu s nejvyšší termodynamickou účinností a tudíž i s nejpříznivější spotřebou paliva. Při jízdě ve městě může sériový hybrid napájet pouze akumulátor. Spalovací motor je nastartován jenom výjimečně. Naopak v provozu mimo město pohon zajišťuje spalovací motor. Nevýhodou sériového hybridu je snížená účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou. Ta je při elektrickém přenosu přes generátor a měnič do elektromotoru cca 70 % oproti 98 % při mechanickém spojení spalovacího motoru a nápravy. Uspořádání sériového hybridního pohonu je také hojně využíváno v železniční dopravě u dieselelektrických lokomotiv.

Paralelní uspořádání

U paralelního uspořádání jsou jednotlivé hnací prvky zapojeny paralelně. Základ zde tvoří spalovací motor, který je osazen převodovkou konvenčního typu spojenou s náhonem hnací nápravy. Přes soustavu spojek je, mezi spalovací motor a převodovku, paralelně připojen asynchronní elektromotor, jehož maximální otáčky jsou stejné jako maximální otáčky spalovacího motoru. Asynchronní elektromotor zde může rovněž plnit funkci generátoru elektrické energie a při regenerativním brzdění ji akumulovat do baterií.

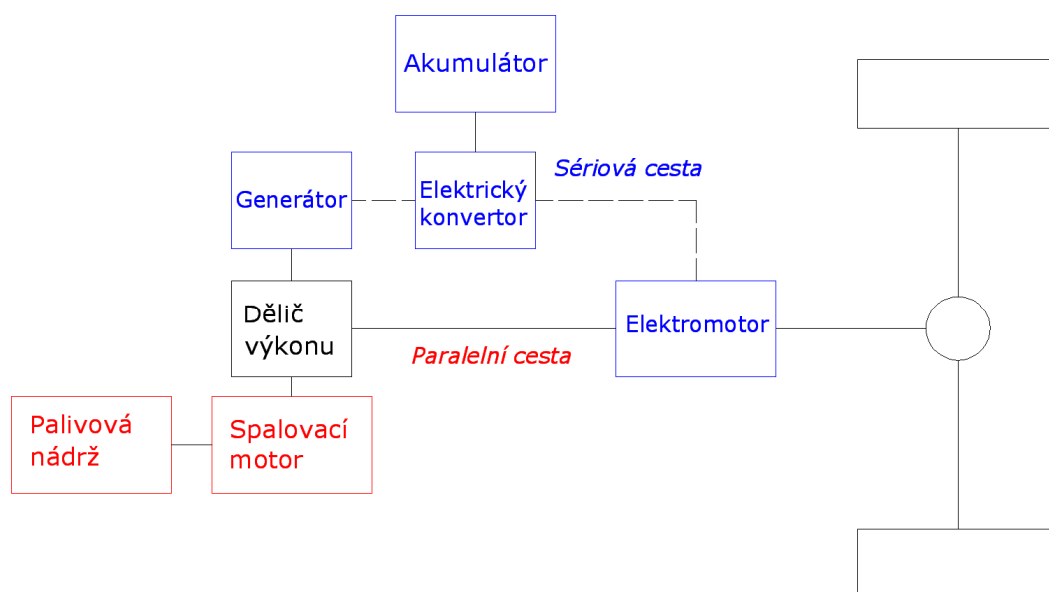
Dále v tomto uspořádání plní elektromotor funkci alternátoru a startéru. Ve snaze zvýšit účinnost spalovacího motoru, mohou být prvky příslušenství automobilu, jako je posilovač řízení či klimatizace, poháněny rovněž elektromotorem. V kombinovaném provozu je téměř po celou dobu spalovací motor zapnutý. Výhodou paralelního uspořádání je, že při provozu na spalovací motor můžeme naplno využít jeho potenciálu a vozidlo má jízdní vlastnosti totožné s klasickým uspořádáním a tomu i odpovídající emise. Při požadavku maximálního výkonu, např. při zrychlování z nízkých otáček spalovacího motoru se na pohonu podílí i elektromotor, čímž vzniká dostatečná výkonová rezerva odpovídající velkoobjemovým motorům. Právě proto můžeme používat u paralelních hybridů nízkoobjemové motory a jejich výkonové špičky pokrýt připojením elektromotoru. Při provozu ve městě je možný pohon pouze elektromotorem. Dojezd je však omezen možnostmi akumulátoru.



Obr. 5, Schéma paralelního hybridu

Kombinované uspořádání

Koncepce sériového nebo paralelního uspořádání hybridního pohonu má kromě svých specifických výhod a předností na straně jedné, také řadu nevýhod a omezení na straně druhé. Tyto nedostatky vedly konstruktéry k vytvoření kombinovaného hybridního pohonu, který může libovolně kombinovat dva předchozí způsoby, resp. jejich výhody. Kombinovaný hybridní pohon je opatřen tzv. děličem výkonu, díky kterému dochází k jeho větvení. Např. mechanická energie spalovacího motoru může jít ke kolům mechanickou cestou přes převodovku jako u paralelního uspořádání nebo cestou přes generátor, kde se změní v energii elektrickou a pohání elektromotor jako u sériového uspořádání. Samozřejmostí je i provoz, který je zajištěn pouze elektromotorem, rekuperační brzdění nebo zlepšování jízdní dynamiky spalovacího motoru připojením elektromotoru. Všechny tyto výhody s sebou nesou značnou složitost celého konstrukčního uspořádání, což se projevuje v ceně vozidla. O procentuálním rozdělení výkonu danou cestou rozhoduje řídicí jednotka podle jízdního režimu, ve kterém se vozidlo v danou chvíli nachází. Kombinované uspořádání používá např. první sériově vyráběný hybrid Toyota Prius.



Obr. 6, Schéma kombinovaného hybridu

2.4 Rozdělení hybridních vozidel dle stupně hybridizace

Dalším důležitým rozdělením je rozdělení hybridních vozidel podle stupně hybridizace. Stupeň hybridizace, je používán v marketingu jednotlivých automobilek, a v podstatě určuje, v jak velkém měřítku se podílí na pohonu vozidla, elektromotor.

Micro Hybrid

Označován také jako Light Hybrid. Ve své podstatě nesplňuje definici hybridního vozidla, protože v sobě nekombinuje dvě a více pohonných jednotek, ale přesto má ve svém označení slovo hybrid, což může být matoucí. Micro hybrid je klasické vozidlo opatřené spalovacím motorem, který pohání vozidlo po celou dobu jeho provozu. Spalovací motor je osazen elektromotorem, který zde plní funkce elektrického startéru a alternátoru. Vozidla disponují tzv. start & stop (stop & start nebo stop & go) systémem, díky kterému je spalovací motor vypínán při zastavení vozidla, např. na křižovatce, což zejména ve městech zlepšuje spotřebu vozidla (o 5% až 10%). Mimo město má však tato funkce téměř nulový význam. Elektromotor i akumulátor vozu musí být pro časté startování motoru náležitě dimenzovány, čímž se může zvýšit celková hmotnost vozidla.

Druhá generace Micro Hybridů, označovaná též jako Hollow Hybrid, je osazena elektromotorem, který se při zpomalování vozidla může chovat jako generátor, který nabíjí akumulátor. Tehdy vozidlo tzv. rekuperačně brzdí. Tento elektromotor může také pohánět příslušenství jako posilovač řízení nebo klimatizaci. Stejně jako v první generaci je největší úspora paliva při provozu ve městě. Micro Hybridní koncepce se začíná více používat od roku 2008.

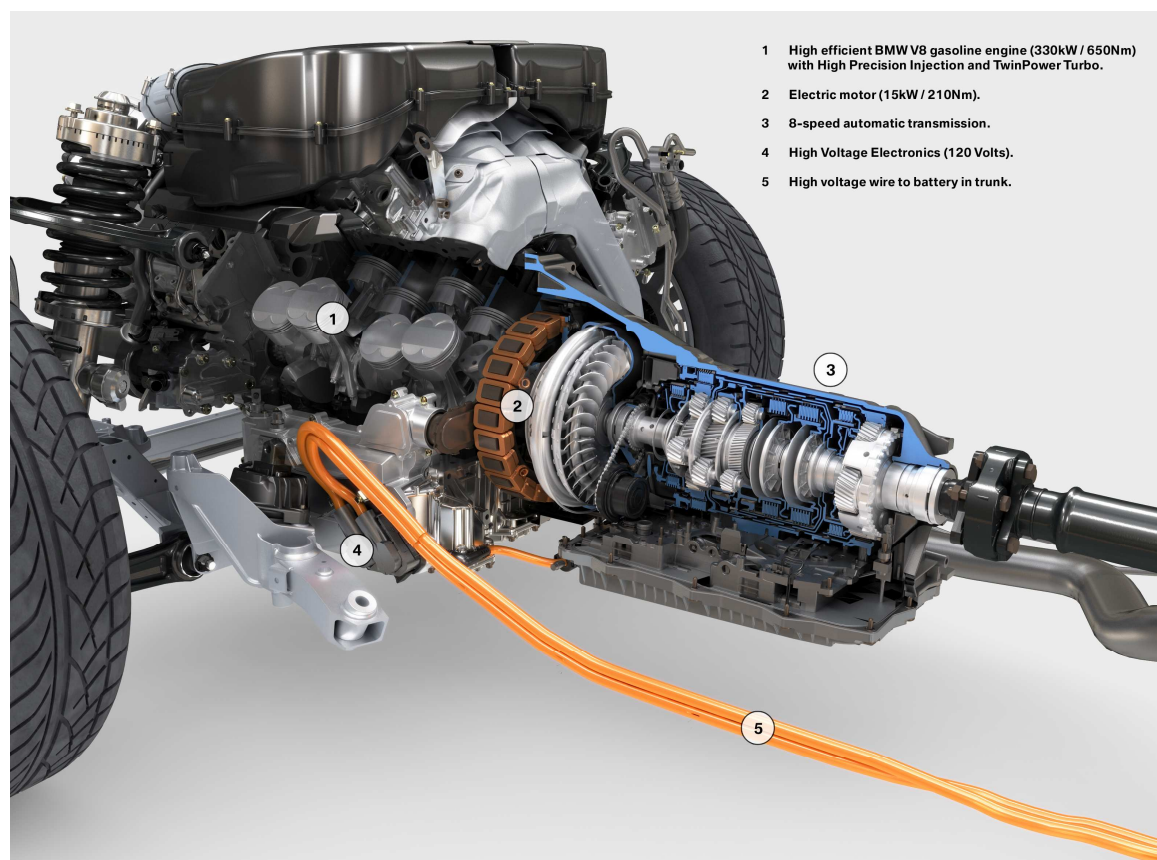
Mild Hybrid

Může být také označován jako Power assist hybrid. Mild Hybrid je opatřen klasickým spalovacím motorem, který vozidlo pohání po celou dobu jeho provozu. Mezi spalovacím motorem a převodovkou je umístěn elektromotor, plnící rovněž funkci generátoru. Mild Hybrid není schopen provozu čistě na elektrickou energii. Elektromotor asistuje spalovacímu motoru a pokrývá jeho výkonové špičky při zrychlování a rozjíždění.

dění vozidla. Díky tomu můžeme na spalovacím motoru uplatnit tzv. downsizing (snížení zdvihového objemu), čímž zlepšíme spotřebu vozidla. Elektromotor se může chovat jako generátor a při brzdění rekuperovat elektrickou energii do akumulátoru. Vozidla mohou být opatřena start & stop systémem. Největší úspory paliva dosáhneme v městském provozu, při častých rozjezdech a zastaveních. Mild Hybrid koncepce, je v současnosti využívána automobilkou Honda u modelů Insight, Civic Hybrid a Accord Hybrid nebo automobilkou BMW u vozů řady 7 ActiveHybrid.

Muscle Hybrid

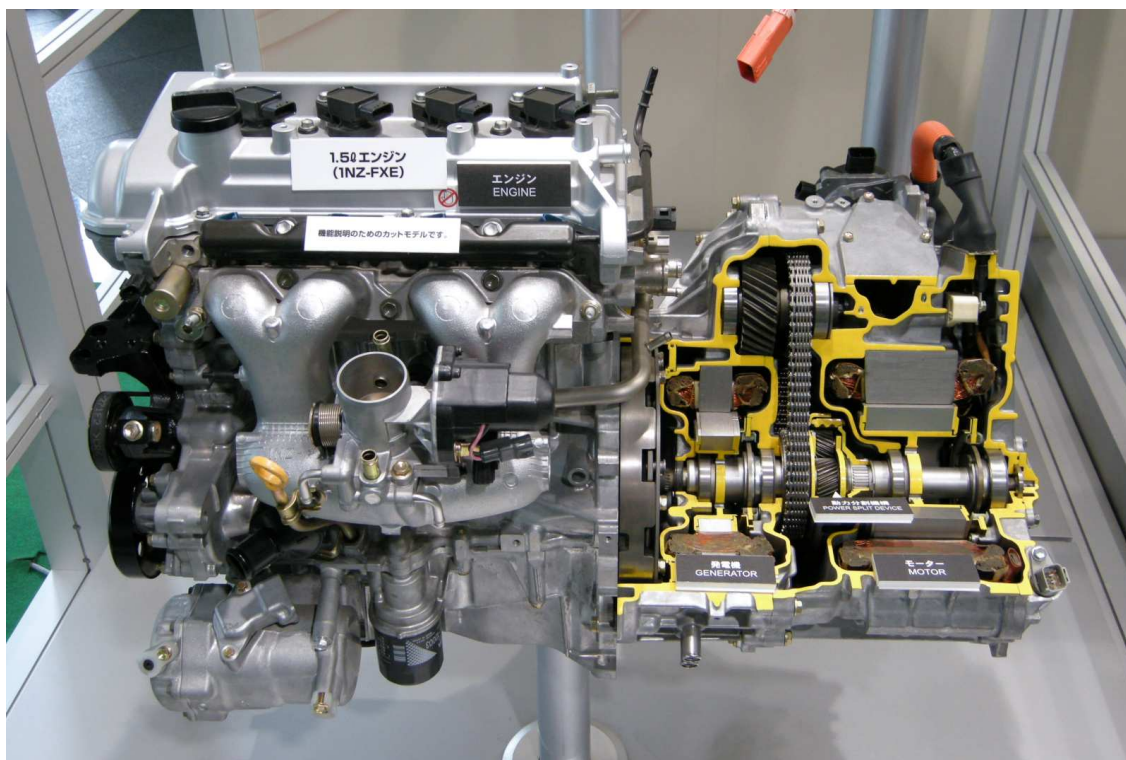
Jedná se o kategorii Mild Hybridů. Toto označení se používá především ve Spojených státech, kde je zažitá tradice velkoobjemových motorů. Muscle hybrid je téměř totožný s Mild Hybridem, ale nedošlo zde k downsizingu spalovacího motoru. Spalovací motor si tedy zachovává svůj značný objem, mnohdy nad 5 litrů. Elektromotor plní stejné funkce jako u mild hybridu, ale je zde spíše pro zvýšení jízdní dynamiky a výkonu, než pro snížení spotřeby.



Obr. 7, BMW 7 ActiveHybrid [4]

Full Hybrid

Někdy také označován jako Strong Hybrid. Vozidlo je opatřeno klasickým spalovacím motorem, synchronním elektromotorem, který plní funkci motoru a generátoru, a akumulátory. Full Hybrid se od výše jmenovaných stupňů hybridizace liší zásadní skutečností. Vozidlo je totiž schopno provozu pouze na elektrický pohon z akumulátorů, tedy v režimu zero emission level, kdy nejsou produkovány žádné emise, popřípadě může kombinovat provoz na spalovací motor a elektromotor. Spalovací motor zde nemá výsadní postavení, což je hlavní předností. Řidič si tak může vybrat, jaký druh pohonu chce v danou chvíli používat. Samozřejmostí je rekuperace energie do akumulátorů při zpomalování nebo brzdění. Vozidla bývají vybavená děličem výkonu, díky kterému mohou v případě potřeby, většího výkonu při akceleraci, používat oba poháněcí zdroje najednou. Nejpriznivější úspory paliva dosáhne full hybrid v městském provozu, při častém rozjíždění a zpomalování, kdy je provozován převážně na elektrickou energii. Nejznámějšími průkopníky ve vývoji Full Hybridů jsou automobilky Toyota s modelem Prius a Lexus s modely RX 400h, RX 450h, GS 450h a LS500h, popřípadě BMW s modelem X6 ActiveHybrid.



Obr. 8, Pohonná jednotka vozidla Toyota Prius [5]

Plug-in Hybrid

Vozidlo je svojí koncepcí téměř totožné s Full Hybridem, avšak je možné jeho akumulátory dobíjet z externího zdroje. To je také hlavní výhodou. Vozidlo umožňuje stejně jako Full Hybrid plně elektrický provoz, rekuperační brzdění či provoz pouze na spalovací motor. Sériově vyráběná vozidla používající tuto technologii jsou Chevrolet Volt nebo Toyota Prius Plug-in

3 Tvorba programu

Pro tvorbu samotného programu, jsem použil uživatelsky příjemný a dostupný software, Microsoft Office Excel 2003, který bývá nainstalován na většině počítačů. Zde popíšu, jaké jsem použil vzorce a podmínky, jak jsem program vytvářel a dolad'oval.

Cíl programu:

Cílem programu je určit pro dané vozidlo a jeho případnou úpravu na Micro Hybrid a Mild Hybrid dynamické vlastnosti, spotřebu paliva a produkci CO₂ při cyklických testech NEFZ 2000 a FTP 75. Program musí být univerzální pro libovolně měnitelné parametry vozidla i prostředí.

3.1 Zadávací tabulky

Základním prvkem programu jsou právě hodnoty, potřebné k dalším výpočtům. Na zadávacím listě se nachází několik zadávacích kolonek pro následující hodnoty v příslušných jednotkách:

Parametry vozidla:

- Zdvihový objem motoru V_z [dm³]
- Hmotnost vozidla m_v [kg]
- Součinitel odporu valení f [1]
- Součinitel odporu vzduchu c_x [1]
- Velikost čelní plochy vozidla S_x [m²]
- Poloměr kol r_k [m]
- Setrvačný moment motoru J_m [kg·m²]
- Moment setrvačnosti kol $\sum J_k$ [kg·m²]

Parametry převodovky:

- Převodové číslo 1. rychlostního stupně i_1 [1]
- Převodové číslo 2. rychlostního stupně i_2 [1]
- Převodové číslo 3. rychlostního stupně i_3 [1]
- Převodové číslo 4. rychlostního stupně i_4 [1]
- Převodové číslo 5. rychlostního stupně i_5 [1]
- Převodové číslo stálého převodu i_s [1]
- Mechanická účinnost přenosu energie η_{mech} [1]

Parametry prostředí:

- Hustota vzduchu ρ_{vz} [kg·m⁻³]
- Gravitační zrychlení g [m/s²]

Vlastnosti paliva:

- Druh paliva; lze vybrat: benzín; naftu; vodík; methan a propan
- Hustota paliva ρ_p [kg·m⁻³]

Vlastnosti úpravy Mild Hybrid:

- Výkon elektromotoru P_{el} [kW]
- Navýšení hmotnosti vozidla m_{vmild} [kg]

Otáčková charakteristika motoru:

Otáčky n [1/min]	Točivý moment motoru M_t [Nm]	Efektivní výkon P_e [kW]

Do této tabulky zadá uživatel hodnoty otáček a točivého momentu motoru z otáčkové charakteristiky pro danou motorizaci vozidla. Pro informaci program vypočte efektivní výkon motoru ze vztahu:

$$P_e = M_t \cdot 2 \cdot \pi \cdot n / 60000 \quad (1)$$

Je zde k dispozici 25 kolonek pro hodnoty. Pokud uživatel nevyplní všechny, nechá ty zbylé prázdné. Prázdné kolonky jsou pro další běh programu automaticky vyplněny hodnotou první kolonky.

Zatěžovací charakteristika motoru:

Otáčky n [1/min]	Střední efektivní tlak p_e [bar]	Spotřeba paliva M_p [l/h]

Do této tabulky zadá uživatel hodnoty otáček, středního efektivního tlaku a příslušné spotřeby paliva ze zatěžovací charakteristiky pro danou motorizaci vozidla. Je zde k dispozici 150 kolonek pro hodnoty. Stejně jako v předchozí tabulce, jsou nevyplněné kolonky pro další výpočet vyplněny hodnotou z prvního řádku.

Toto jsou všechny vstupní hodnoty potřebné ke správnému výpočtu.

3.2 Dynamické vlastnosti

V první části popisu výpočtu se budu zabývat určením dynamických vlastností pro zadané parametry vozidla.

Cíl výpočtů:

Cílem této části programu je výpočet hodnot potřebných k vytvoření grafů:

- Hnací charakteristika
- Dynamická charakteristika
- Závislost zrychlení na rychlosti
- Závislost stoupání na rychlosti

Cílem je též určení maximálních hodnot rychlosti, zrychlení a stoupání na určitý rychlostní stupeň.

Nahrazení otáčkové charakteristiky polynomem:

Protože v dalších výpočtech jsou otáčky pro zvýšení přesnosti výsledků seřazeny od minimálních po maximální s krokem 50 otáček 1/min. Je nutné vytvořit aproximaci ze zadaných hodnot otáčkové charakteristiky funkcí závislosti točivého momentu na otáčkách.

$$M_t = f(n) \quad (2)$$

Kde jsou n = otáčky [1/min] a M_t = točivý moment [Nm].

Navrhl jsem polynomicou regresi představující aproximaci zadaných hodnot polynomem 3. stupně. 3. stupeň se ukázal jako nejvhodnější varianta pro výpočet z hlediska poměru přesnost/jednoduchost. Funkce pro výpočet točivého momentu bude vypadat následovně:

$$M_t = a_0 + a_1 \cdot n + a_2 \cdot n^2 + a_3 \cdot n^3 \quad (3)$$

Výpočet koeficientů polynomu:

Koeficienty polynomu jsou určeny metodou nejmenších čtverců.

Vycházíme z rovnice:

$$A \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = B \quad (4)$$

Kde **A** a **B** jsou matice.

Sestavení matic A a B:

$$A = \begin{bmatrix} p & \sum n & \sum n^2 & \sum n^3 \\ \sum n & \sum n^2 & \sum n^3 & \sum n^4 \\ \sum n^2 & \sum n^3 & \sum n^4 & \sum n^5 \\ \sum n^3 & \sum n^4 & \sum n^5 & \sum n^6 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \sum M_t \\ \sum n \cdot M_t \\ \sum n^2 \cdot M_t \\ \sum n^3 \cdot M_t \end{bmatrix}$$

Kde p = počet zadaných hodnot. Pro náš program bude vždy $p = 25$ a n = otáčky [1/min].

Rovnice pro výpočet koeficientů bude po úpravě vypadat takto:

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = A^{-1} \cdot B \quad (5)$$

Po výpočtu koeficientů polynomu můžeme určit točivý moment při libovolných otáčkách z rozsahu minimálních a maximálních zadaných.

Výpočet hodnot pro určení dynamických charakteristik

V rozmezí minimálních a maximálních otáček s krokem 50 otáček 1/min vypočítá program pro každý rychlostní stupeň od 1 do 5 následující hodnoty.

Rychlost vozidla v [m/s]:

Rychlost určíme ze vztahu:

$$v = \frac{\omega \cdot r_k}{i_c \cdot 60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot r_k}{i_i \cdot i_s \cdot 60} \quad (6)$$

Kde n = otáčky [1/min]; r_k = poloměr kol [m]; i_i = převodové číslo daného rychlostního stupně [1] a i_s = převodové číslo stálého převodu [1].

Hnací síla F_k [N]:

Hnací sílu při daných otáčkách, respektive točivém momentu a při určitém zařazeném rychlostním stupni, určíme ze vztahu:

$$F_k = \frac{M_t \cdot i_c \cdot \eta_{mech}}{r_k} \quad (7)$$

Kde M_t = točivý moment motoru, který nahradíme funkcí $M_t = f(n)$ [Nm];

i_c = celkový převodový poměr [1]; η_{mech} = mechanická účinnost přenosu energie [1] a

r_k = poloměr kol [m].

Po dosazení:

$$F_k = \frac{(a_0 + a_1 \cdot n + a_2 \cdot n^2 + a_3 \cdot n^3) \cdot i_i \cdot i_s \cdot \eta_m}{r_k} \quad (8)$$

Kde a_0, a_1, a_2, a_3 = vypočtené koeficienty; n = otáčky [1/min];

i_i = převodové číslo zařazené rychlosti a i_s = převodové číslo stálého převodu;

η_{mech} = mechanická účinnost přenosu energie [1] a r_k = poloměr kol [m].

Jízdní odpory:

Pokud se vozidlo pohybuje, působí proti jeho pohybu jízdní odpory. Suma jízdních odporů je v každém okamžiku rovna hnací síle vozidla. Můžeme napsat rovnici:

$$\sum O = F_k = O_f + O_v + O_s + O_\alpha \quad (9)$$

Kde F_k = hnací síla [N]; O_f = odpor valení [N]; O_v = odpor vzduchu [N]; O_s = odpor setrvačnosti [N] a O_α = odpor stoupání [N]

Odpor valení O_f [N]:

Odpor valení je dán vztahem:

$$O_f = f \cdot G = f \cdot m_v \cdot g \quad (10)$$

Kde f = součinitel odporu valení [1] a G = tíhová síla vozidla [N].

Tíhová síla je dána vztahem:

$$G = m_v \cdot g \quad (11)$$

Kde m_v = hmotnost vozidla [kg] a g = gravitační zrychlení g [m/s^2].

Součinitel odporu valení závisí na mnoha faktorech. Výrazně ho ovlivňuje kvalita a povrch vozovky. Dále je ovlivněn faktory konstrukce, materiálu, tvaru vzorku, teplotě a tlaku huštění pneumatiky.

Odpor vzduchu O_v [N]:

Pokud je vozidlo v pohybu, dochází k obtékání jeho karoserie okolním vzduchem a vzniká odporová síla. Velikost odporu vzduchu nejvíce ovlivňuje rychlost vozidla, protože roste s kvadrátem rychlosti. Vztah pro odpor vzduchu:

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho_{vz} \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_{celk}^2 \quad (12)$$

Kde ρ_{vz} = hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]; c_x = součinitel odporu vzduchu [1]; S_x = velikost čelní plochy vozidla [m^2] a v_{celk} = celková rychlost vozidla [m/s].

Celková rychlost vozidla je dána vztahem:

$$v_{celk} = v \pm v_v \quad (13)$$

Kde v = rychlost vozidla [m/s]; v_v = rychlost větru \rightarrow Pro naše podmínky je $v_v = 0 \text{ m/s}$.

Hodnoty S_x a c_x lze dohledat v prospektech o vozidlu.

Odpor stoupání O_α [N]:

Pokud jede vozidlo do kopce, působí proti jeho pohybu složka tíhové síly vozidla rovnoběžná se sklonem vozovky. Odpor stoupání je dán vztahem:

$$O_\alpha = G \cdot \sin \alpha = m_v \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (14)$$

Kde α = sklon vozovky [$^\circ$]; m_v = hmotnost vozidla [kg] a g = gravitační zrychlení [m/s^2].

Pro podmínky sestavení charakteristik simulujeme pohyb vozidla po rovině, kde je sklon vozovky $\alpha = 0^\circ$.

$$O_\alpha = m_v \cdot g \cdot \sin 0^\circ \quad (15)$$

Z toho plyne, že **odpor stoupání $O_\alpha = 0 \text{ N}$** .

Odpor setrvačnosti O_s [N]:

Odpor setrvačnosti vzniká při zrychlování a zpomalování vozidla a je způsoben setrvačnou silou, která působí proti směru zrychlení vozidla. Vzniká pouze za podmínky:

$$v \neq konst \rightarrow \frac{dv}{dt} \neq 0 \quad (16)$$

Odpor setrvačnosti je určen silou, která je potřebná ke zrychlení posuvných a rotačních hmot. Rotační hmoty jsou určeny momentem setrvačnosti motoru J_m a momentem setrvačnosti kol J_K .

Odvozený vztah pro odpor setrvačnosti:

$$O_s = \frac{dv}{dt} \cdot m_v \cdot \left(1 + \frac{J_m \cdot (i_i \cdot i_s)^2 \cdot \eta_{mech} + \sum J_m}{r_k^2 \cdot m_v} \right) = \frac{dv}{dt} \cdot m_v \cdot \zeta \quad (17)$$

Kde m_v = hmotnost vozidla [kg]; i_i = převodové číslo zařazené rychlosti [1];

i_s = převodové číslo stálého převodu [1]; J_m = setrvačný moment motoru [kg·m²];

$\sum J_k$ = Moment setrvačnosti kol [kg·m²]; η_{mech} = mech. účinnost přenosu energie [1];

r_k = poloměr kol [m]; m_v = hmotnost vozidla [kg] a ζ = Součinitel vlivu rotačních hmot [1].

Pro podmínky sestavení charakteristik počítáme v daném okamžiku s konstantní rychlostí vozidla a nulovým zrychlením, čímž nesplňujeme podmínku pro vznik odporu setrvačnosti. Vztah pro náš případ bude vypadat:

$$O_s = 0 \cdot m_v \cdot \zeta \quad (18)$$

Z toho plyne, že **odpor setrvačnosti $O_s = 0$ N.**

Z výše uvedených faktů vyplývá, že jízdní odpory můžeme zjednodušit na vztah:

$$\sum O = O_f + O_v = f \cdot m_v \cdot g + \frac{1}{2} \cdot \rho_{vz} \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_{celk}^2 \quad (19)$$

Dynamický činitel D [1]:

Dynamický činitel je bezrozměrná veličina dána vztahem:

$$D = \frac{F_k - O_v}{G} \quad (20)$$

Kde D = dynamický činitel [1]; F_k = hnací síla [N]; O_v = odpor vzduchu [N]; G = tíhová síla vozidla [N].

Díky dynamickému činiteli vozidla můžeme porovnávat dynamické vlastnosti vozidla, jako jsou maximální rychlost, zrychlení a stoupání.

Stoupání vozidla s [%]:

Určíme při daných otáčkách a momentu maximální hodnotu stoupání, kterou je vozidlo schopno překonat. Vztah pro stoupání vozidla:

$$s = \frac{-f + D \cdot \sqrt{(1 + f^2 - D^2)}}{1 - D^2} \cdot 100 \quad (21)$$

Kde s = stoupání vozidla [%]; f = součinitel odporu valení [1] a D = dynamický činitel [1].

Stoupání vozidla s [%] převedeme na α [°] pomocí vztahu:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{s}{100}\right) \quad (22)$$

Kde s = stoupání vozidla [%].

Součinitel vlivu rotačních hmot ζ [1]:

Součinitel vlivu rotačních hmot závisí zejména na aktuálním zařazeném převodovém stupni. Pro daný rychlostní stupeň ho určíme ze vztahu:

$$\zeta = \frac{J_m \cdot (i_i \cdot i_s)^2 \cdot \eta_{mech} + \sum J_k}{r_k^2 \cdot m_v} + 1 \quad (23)$$

Kde i_i = převodové číslo zařazené rychlosti [1]; i_s = převodové číslo stálého převodu [1]; J_m = setrvačný moment motoru [kg·m²]; $\sum J_k$ = Moment setrvačnosti kol [kg·m²]; η_{mech} = mech. účinnost přenosu energie [1]; r_k = poloměr kol [m] a m_v = hmotnost vozidla [kg].

Zrychlení vozidla a [m/s²]:

Zrychlení vozidla při určitých otáčkách a zařazeném rychlostním stupni určíme ze vztahu:

$$a = (D - f) \cdot \frac{g}{\zeta} \quad (24)$$

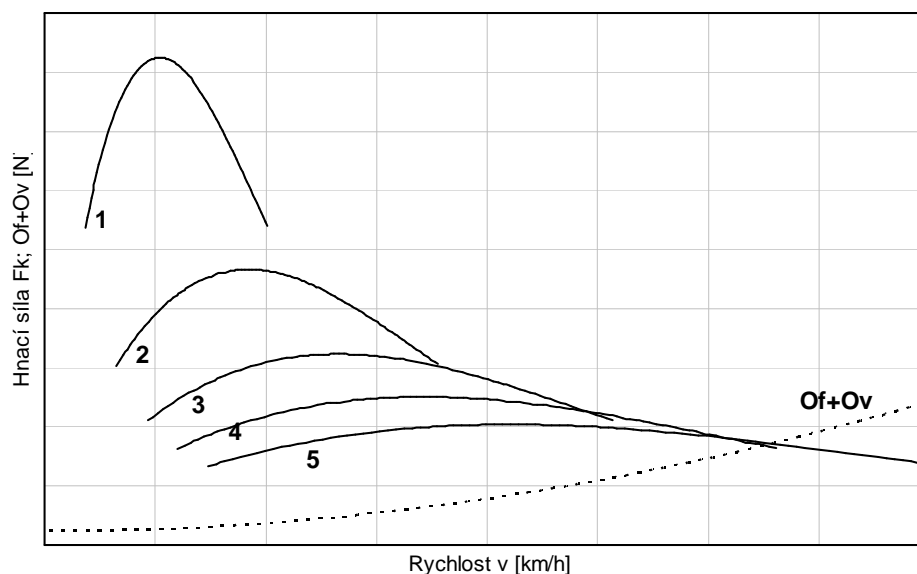
Kde D = dynamický činitel [1]; f = součinitel odporu valení [1]; g = gravitační zrychlení [m/s²] a ζ = Součinitel vlivu rotačních hmot [1].

Tímto máme určeny všechny výše uvedené veličiny pro otáčky v rozmezí minimálních a maximálních s krokem 50 [1/min] a pro všechny rychlostní stupně. Můžeme tedy sestavit požadované charakteristiky:

Dynamické charakteristiky:

Hnací charakteristika:

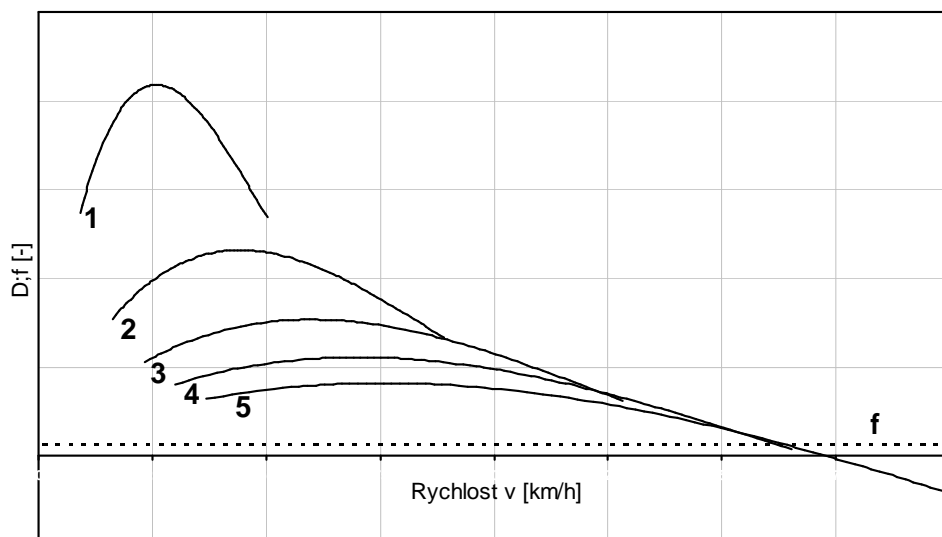
Hnací charakteristika je společným grafem hnací síly a jízdních odporů v závislosti na rychlosti. Určuje využití hnací síly k dosažení potřebné rychlosti vozidla. Průsečík křivky hnací síly a jízdních odporů vyneseny na osu rychlosti určuje maximální rychlost, kterou může dané vozidlo jet na daný rychlostní stupeň.



Obr. 9, Hnací charakteristika

Dynamická charakteristika:

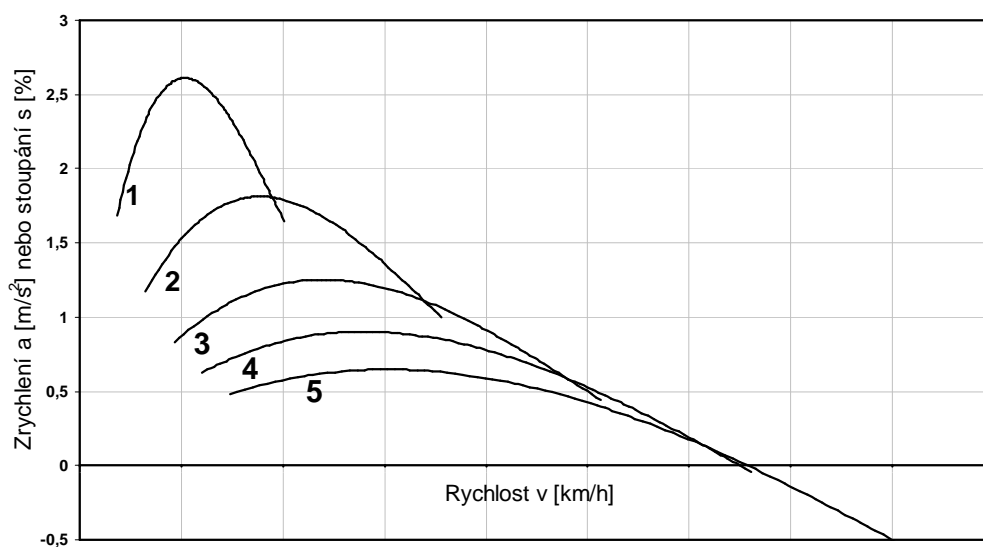
Dynamická charakteristika je grafem dynamického činitele v závislosti na rychlosti vozidla. Z grafu dynamické charakteristiky můžeme určit maximální hodnoty rychlosti, zrychlení a stoupání, kterých je schopno vozidlo dosáhnout.



Obr. 10, Dynamická charakteristika

Závislost zrychlení a stoupání na rychlosti:

Jedná se o dva grafy. V jednom případě je na ose y zrychlení a v druhém stoupání v závislosti na rychlosti vozidla. Z těchto grafů určíme maximální zrychlení a maximální stoupání na daný rychlostní stupeň.



Obr. 11, Graf závislosti zrychlení a stoupání na rychlosti

Tímto máme určeny a zakresleny do grafů dynamické vlastnosti vozidla.

3.3 Simulace jízdních cyklů NEFZ 2000 a FTP75

V další části bude program simulovat průběh jízdních cyklů a vypočítá v každém bodě tohoto cyklu hodnoty potřebné pro určení spotřeby paliva a následně produkce CO₂. Program bude simulovat evropský jízdní emisní cyklus NEFZ 2000 a americký FTP 75. Tyto jízdní emisní cykly jsou zadány průběhem rychlosti při určitém zařazeném rychlostním stupni v závislosti na čase. Simulovat budeme jízdu vozidla s klasickou koncepcí, vozidlo s úpravou Micro Hybrid, tj. systémem start & stop a vozidlo s úpravou Mild Hybrid.

Cíl výpočtů:

Cílem této části programu je ze zadaných hodnot rychlosti, rychlostního stupně a času pro daný emisní cyklus, určit hodnoty potřebné pro výpočet spotřeby paliva

Nahrazení zatěžovací charakteristiky funkcí:

Ze zadaných hodnot zatěžovací charakteristiky vidíme, že spotřeba paliva M_p je závislá na otáčkách motoru n a středním efektivním tlaku p_e . Je proto nezbytné vytvořit funkci, která nám vypočítá spotřebu paliva, zadáme-li jí libovolné hodnoty otáček a středního efektivního tlaku. Bude se jednat o funkci dvou proměnných:

$$M_p = f(n; p_e) \quad (25)$$

Kde jsou M_p = spotřeba paliva [l/h]; n = otáčky motoru [1/min] a p_e = střední efektivní tlak [bar]

Navrhl jsem opět polynomickou regresi představující aproximaci zadaných hodnot polynomem, která se ukázala jako nejvhodnější varianta pro výpočet z hlediska poměru přesnost/jednoduchost. Uživatel si může vybrat v rolovací nabídce mezi 2., 3., 4. a 5. stupněm polynomu. Vztah pro výpočet spotřeby paliva pomocí 2. stupně polynomu bude vypadat následovně:

$$M_p = a + b \cdot n + c \cdot p_e + d \cdot n \cdot p_e + e \cdot n^2 \cdot p_e + f \cdot p_e^2 \cdot n + g \cdot n^2 + h \cdot p_e^2 \quad (26)$$

3. stupně:

$$M_p = a + b \cdot n + c \cdot p_e + d \cdot n \cdot p_e + e \cdot n^2 \cdot p_e + f \cdot p_e^2 \cdot n + g \cdot n^2 + h \cdot p_e^2 + i \cdot n^3 + j \cdot p_e^3 \quad (27)$$

4. stupně:

$$M_p = a + b \cdot n + c \cdot p_e + d \cdot n \cdot p_e + e \cdot n^2 \cdot p_e + f \cdot p_e^2 \cdot n + g \cdot n^2 + h \cdot p_e^2 + i \cdot n^3 + j \cdot p_e^3 + k \cdot n^4 + l \cdot p_e^4 \quad (28)$$

5. stupně:

$$M_p = a + b \cdot n + c \cdot p_e + d \cdot n \cdot p_e + e \cdot n^2 \cdot p_e + f \cdot p_e^2 \cdot n + g \cdot n^2 + h \cdot p_e^2 + i \cdot n^3 + j \cdot p_e^3 + k \cdot n^4 + l \cdot p_e^4 + m \cdot n^5 + n \cdot p_e^5 \quad (29)$$

Výpočet koeficientů polynomu:

Pro výpočet koeficientů jsem použil metodu nejmenších čtverců. Uvedu zde příklad výpočtu pro 2. stupeň, protože pro vyšší stupně jsou výpočty totožné s tím rozdílem, že se mění počet neznámých a rozměrnost matic. Tento 2. stupeň polynomu budu uvádět i v dalších výpočtech spotřeb paliva.

Můžeme napsat rovnici:

$$A \cdot X = b \quad (30)$$

Kde **A**; **X** a **b** jsou matice.

Sestavení matic **A**, **X** a **b**:

Matice **A** bude mít tolik řádků, kolik zadáváme hodnot, v našem případě 150 a tolik sloupců, kolik počítáme koeficientů, tedy 8. Je vyplněna zadanými hodnotami otáček a středního efektivního tlaku.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & n & p_e & n \cdot p_e & n^2 \cdot p_e & p_e^2 \cdot n & n^2 & p_e^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

Matice **b** bude mít jeden sloupec o stejném počtu řádků jako matice **A**, tedy 150. Je vyplněna zadanou hodnotou spotřeby paliva, která je přiřazena hodnotám matice **A**.

$$b = \begin{bmatrix} M_p \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Matice \mathbf{X} bude mít jeden sloupec o 8 řádcích představující požadované koeficienty polynomu.

$$X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix}$$

Z toho plyne, že máme soustavu 150 rovnic pro 8 neznámých.

V tomto tvaru nemá soustava řešení a musíme ji upravit. Vynásobíme ji proto transponovanou maticí \mathbf{A} .

$$A \cdot X = b \quad / \cdot A^T \quad (31)$$

Vznikne tedy rovnice:

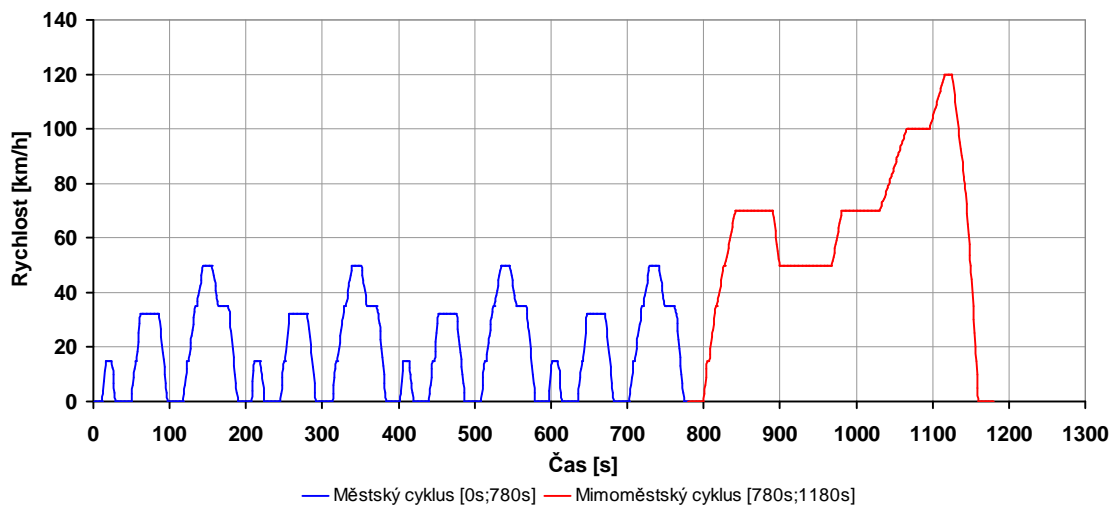
$$A^T \cdot A \cdot X = A^T \cdot b \quad (32)$$

Po převedení členu $(A^T \cdot X)$ na pravou stranu získáme vztah pro určení koeficientů. Jedná se o soustavu 8 rovnic pro 8 neznámých, jejíž řešení spočívá pouze v součinech jednotlivých matic mezi sebou:

$$\begin{bmatrix} a \\ \vdots \\ \vdots \\ h \end{bmatrix} = A^T \cdot b \cdot (A^T \cdot A)^{-1} \quad (33)$$

Tímto vztahem máme určeny všechny koeficienty polynomu a můžeme určit spotřebu paliva při libovolných otáčkách a středním efektivním tlaku.

Simulace NEFZ 2000



Obr. 12, Graf NEFZ 2000

Pro daný test vypočítá program následující hodnoty. Počet hodnot je v tomto případě od času $t = 1\text{ s}$ do $t = 1180\text{ s}$, s krokem po 1 s , tedy 1180.

Rychlost v [m/s]:

Určím jednoduše přepočtem:

$$v[m/s] = \frac{v[km/h]}{3,6} \quad (34)$$

Zrychlení a [m/s²]:

Vycházím ze vztahu pro zrychlení:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{v_2 - v_1}{dt} \quad (35)$$

Kde v = rychlost vozidla [m/s] a dt = rozdíl časů.

Pro náš případ bude vždy platit že **$dt = 1\text{ s}$** .

Otáčky motoru n_m [1/min]:

Při určování otáček je použita podmínka. Pokud bude zařazený neutrál (značený 0), otáčky jsou automaticky nastaveny na volnoběh **$n_m = 700\text{ 1/min}$** .

Při zařazené rychlosti vycházíme ze vztahu pro výpočet rychlosti:

$$v = \omega_k \cdot r_k = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_k}{60} \cdot r_k \Rightarrow n_k \quad (36)$$

Kde n_k = otáčky kola [1/min]; r_k = poloměr kola [m] a v = rychlost [m/s].

A vztahu pro určení otáček motoru:

$$n_m = n_k \cdot i_c \quad (37)$$

Kde n_m = otáčky motoru [1/min]; n_k = otáčky kola [1/min] a i_c = celkový převodový poměr [1].

Výsledný vztah pro určení otáček motoru vypadá takto:

$$n_m = \frac{v \cdot 60 \cdot i_i \cdot i_s}{2 \cdot \pi \cdot r_k} \quad (38)$$

Kde n_k = otáčky kola [1/min]; r_k = poloměr kola [m]; v = rychlost [m/s]; i_i = převodové číslo zařazené rychlosti [1] a i_s = převodové číslo stálého převodu [1].

Hnací síla F_k [N]:

Použiji podmínku, že při zařazeném neutrálu je hnací síla $F_k = 0$ N.

Vycházíme ze vztahu (9).

Pro náš případ jede vozidlo po rovině, z čehož plyne, že **odpor stoupání $O_a = 0$ N.**

Dále počítáme s nulovou rychlostí větru, proto je ve vztahu pro odpor vzduchem pouze rychlost vozidla v [m/s].

Pro výpočet hnací síly užijeme vztah:

$$F_k = f \cdot m_v \cdot g + \frac{1}{2} \cdot \rho_{vz} \cdot c_x \cdot S_x \cdot v^2 + m_v \cdot a \cdot \zeta \quad (39)$$

Kde f = součinitel odporu valení [1]; m_v = hmotnost vozidla [kg]; g = gravitační zrychlení [m/s^2]; ρ_{vz} = hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]; c_x = součinitel odporu vzduchu [1];

S_x = velikost čelní plochy vozidla [m^2]; v = rychlost vozidla [m/s]; a = zrychlení vozidla [m/s^2] a ζ = součinitel vlivu rotačních hmot [1].

Součinitel vlivu rotačních hmot ζ [1] je již určen v dynamických charakteristikách vozidla.

Točivý moment M_t [Nm]:

Vycházíme ze vztahu pro výpočet momentu na kole:

$$M_k = F_k \cdot r_k \quad (40)$$

Kde M_k = moment na kole [Nm]; F_k = hnací síla [N] a r_k = poloměr kola [m].

Točivý moment spočítáme:

$$M_t = \frac{M_k}{(i_c \cdot \eta_{mech})} \quad (41)$$

Kde M_k = moment na kole [Nm]; i_c = celkový převodový poměr [1] a

η_{mech} = mechanická účinnost přenosu energie.

Výsledný vztah pro moment motoru:

$$M_t = \frac{F_k \cdot r_k}{(i_i \cdot i_s \cdot \eta_{mech})} \quad (42)$$

Kde F_k = hnací síla [N]; r_k = poloměr kola [m]; i_i = převodové číslo zařazené rychlosti;

i_s = převodové číslo stálého převodu a η_{mech} = mechanická účinnost přenosu energie.

Efektivní výkon motoru P_e [kW]:

Efektivní výkon motoru určíme z točivého momentu motoru M_t :

$$P_e = M_t \cdot 2 \cdot \pi \cdot n / 60000 \quad (43)$$

Kde M_t = točivý moment [Nm] a n = otáčky motoru [1/min].

Střední efektivní tlak p_e [bar]:

Střední efektivní tlak určíme ze vztahu pro efektivní výkon motoru:

$$P_e = \frac{V_z \cdot p_e \cdot n}{30 \cdot \tau} \quad (44)$$

Kde P_e = efektivní výkon motoru [kW]; V_z = zdvihový objem motoru [dm³];

p_e = střední efektivní tlak [MPa] a n = otáčky motoru [1/min].

Pro 4 taktní motor bude vždy platit $\tau = 4$.

Výsledný vztah pro střední efektivní tlak:

$$p_e = \frac{P_e \cdot 30 \cdot 4}{n \cdot V_z} \cdot 10 \quad (45)$$

Kde p_e = střední efektivní tlak [bar]; P_e = efektivní výkon motoru [kW]; V_z = zdvihový objem motoru [dm³]; n = otáčky motoru [1/min].

Vztah je vynásoben 10 z důvodu převodu [MPa] na [bar].

Při zařazeném neutrálu, tedy nulové hnací síle, je střední efektivní tlak **$p_e = 0$ bar**.

Spotřeba paliva M_p [l/s]:

Při výpočtu spotřeby paliva je v programu použito několik podmínek.

Pokud je zařazen neutrál (0), jsou otáčky motoru $n = 700$ 1/min a střední efektivní tlak

$p_e = 0$ bar spotřeba je proto vypočtena pro volnoběžné otáčky motoru.

Pokud vozidlo zpomaluje, tzn. $v_1 > v_2$, uvažujeme brzdění motorem a spotřeba paliva je

$M_p = 0$ l/s.

Díky předchozímu výpočtu koeficientů, hodnot otáček a středního efektivního tlaku můžeme určit spotřebu paliva:

$$M_p = \frac{(a + b \cdot n + c \cdot p_e + d \cdot n \cdot p_e + e \cdot n^2 \cdot p_e + f \cdot p_e^2 \cdot n + g \cdot n^2 + h \cdot p_e^2)}{3600} \quad (46)$$

Kde n = otáčky motoru [1/min]; p_e = střední efektivní tlak [bar] a

a, b, c, d, e, f, g, h = vypočtené koeficienty polynomu.

Vztah dělíme 3600 kvůli přepočtu z [l/h] na [l/s].

Nyní máme v každém řádku tabulky vypočítanou spotřebu paliva [l/s].

Dráha s [km]:

Vycházíme ze vztahu pro rychlost:

$$s = v \cdot t \cdot \frac{1}{3600} \quad (47)$$

Kde v = rychlost [km/h] a t = čas [s].

Díky kroku 1 s mezi řádky stačí převést rychlost na km/s vydělením vztahu 3600. Celková ujetá vzdálenost vozidla [km] bude rovna součtu všech rychlostí vozidla [km/s].

Výpočet spotřeb paliva a produkce CO₂:

Množství (objem) spotřebovaného paliva V_p [l]:

Množství spotřebovaného paliva vypočteme součtem všech spotřeb paliva M_p [l/s], protože krok mezi jednotlivými řádky je 1 s.

Jízdní spotřeba paliva m_{pod} [l/100 km]:

Jízdní spotřebu paliva určíme z dráhy, kterou vozidlo ujede za 1 s a spotřeby paliva v daném okamžiku. Použijeme vztah:

$$m_{pod} = \frac{M_p}{s} \cdot 100 \quad (48)$$

Kde M_p = spotřeba paliva [l/s] a s = dráha [km].

Průměrná jízdní spotřeba paliva [l/100 km]:

Určíme ji dle vztahu:

$$m_{pod} = \frac{V_p}{s} \cdot 100 \quad (49)$$

Kde V_p = množství spotřebovaného paliva [l] a s = ujetá dráha [km].

Hmotnost paliva m_p [kg]:

Určíme ze vztahu:

$$m_p = \rho_p \cdot V_p \quad (50)$$

Kde ρ_p = hustota paliva [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] a V_p = objem paliva [m^3].

Produkce CO₂ m_{CO_2} [kg]:

Množství vyprodukovaného oxidu uhličitého závisí na množství spotřebovaného paliva, respektive jeho hmotnosti a na jeho druhu. Určíme ho z rovnic hoření popisující dokonalé spalování uhlovodíkových paliv:

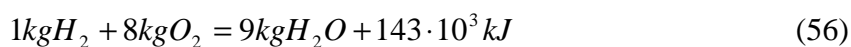
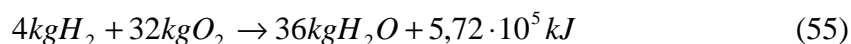
Reakce uhlíku:



$$12\text{kg}C + 32\text{kg}O_2 = 44\text{kg}CO_2 + 3,935 \cdot 10^5 \text{kJ} \quad (52)$$

$$1\text{kg}C + \frac{32}{12}\text{kg}O_2 = \frac{44}{12}\text{kg}CO_2 + 3,935 \cdot 10^5 \text{kJ} \quad (53)$$

Reakce vodíku:



Pro náš výpočet postačí pouze rovnice reakce uhlíku. V rovnici (53) máme vyjádřenou produkci CO₂ pro 1 kg uhlíku. Při cvičeních z předmětu ZVM jsme odvodili hodnoty množství uhlíku v 1kg paliva, které jsem uvedl v následující tabulce:

Druh paliva	Hmotnost uhlíku [kg]
Benzín	0,855
Nafta	0,87
Vodík	0
Methan	0,75
Propan	0,818

Tab. 1, Hmotnosti uhlíku v 1 kg dané látky

Hmotnost vyprodukovaného CO₂ proto vypočteme:

$$m_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot m_p \cdot m_c \quad (57)$$

Kde m_{CO_2} = hmotnost vyprodukovaného CO₂ [kg]; m_p = hmotnost paliva a m_c = hmotnost uhlíku v 1 kg daného paliva [kg].

Pokud bude vozidlo provozováno na vodík, bude produkce CO₂ **nulová**.

Jízdní produkce m_{pCO_2} [gCO₂/km]:

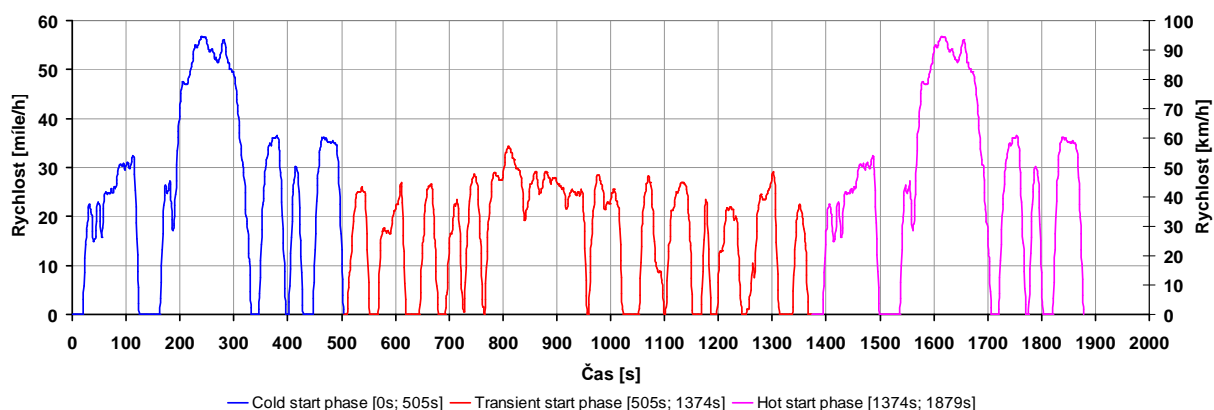
Určíme ze vztahu:

$$m_{pCO_2} = \frac{m_{CO_2}}{s} \cdot 1000 \quad (58)$$

Kde m_{CO_2} = hmotnost vyprodukovaného CO₂ [kg] a s = ujetá dráha [km].

Simulace FTP 75

Protože je výpočet průběhu emisních cyklů NEFZ 2000 a FTP 75 stejný, s rozdílem převedení jednotek rychlosti [míle/h] na [km/h], tzn. jsou použity stejné vzorce, podmínky a principy, nebude průběh výpočtu FTP 75 uvádět.



Obr. 13, Graf FTP 75

3.4 Hybridní úpravy vozidla

Uváděný postup výpočtu dynamických charakteristik vozidla a simulace jízdních emisních cyklů byl doposud popisován univerzálně pro jakékoliv vozidlo, ale vybavené klasickou koncepcí pohonu tj. spalovacím motorem. Pro vozidla s hybridním pohonem budou tyto výpočty rozdílné. Uvedu zde popis výpočtu pouze pro stupně hybridizace s názvem Micro Hybrid a Mild Hybrid. Vyšší stupně hybridizace jako Full Hybrid nebo Plug-in Hybrid vyžadují značně složitý a komplexní přístup.

Micro Hybrid

Jak již bylo zmíněno v úvodu, stupeň hybridizace Micro Hybrid je nejnižší stupeň hybridizace. Pohon vozidla je téměř totožný s klasickým pohonem. Motor je opatřen elektromotorem, který plní funkce startéru a alternátoru. Důležitou vlastností je start & stop systém. Pokud vozidlo zastaví a je zařazený neutrál, automaticky se vypne motor. Na startován je při sešlápnutí spojkového pedálu. Tento systém přináší snížení spotřeby paliva v městském provozu. O čemž se můžeme přesvědčit při nahlédnutí do vypočte-

ných hodnot. Ve výpočtu uvažujeme, že se hmotnost vozidla oproti klasické koncepci nezmění a že při nulové rychlosti a zařazeném neutrálu je spotřeba nulová.

Dynamické charakteristiky vozidla:

Dynamické charakteristiky vozidla s úpravou Micro Hybrid jsou identické jako u vozidla s klasickým pohonem díky předpokladu stejné hmotnosti.

Simulace jízdních cyklů NEFZ 2000 a FTP75:

Zde je postup výpočtu téměř shodný, změní se ale přístup k výpočtu spotřeby paliva M_p .

Spotřeba paliva M_p [l/s]:

Pokud je zařazen neutrál (0), jsou otáčky motoru $n = 700$ 1/min a střední efektivní tlak $p_e = 0$ bar spotřeba je proto vypočtena pro volnoběžné otáčky motoru. Pokud vozidlo zpomaluje, tzn. $v_1 > v_2$, uvažujeme brzdění motorem a spotřeba paliva je $M_p = 0$ l/s

Při uvažování start & stop systému musíme do výpočtů přidat další podmínku. Pokud je zařazen neutrál (0) a zároveň je rychlost vozidla $v = 0$ km/h, je v tomto bodě spotřeba $M_p = 0$ l/s.

Vztah zůstane stejný:

$$M_p = \frac{(a + b \cdot n + c \cdot p_e + d \cdot n \cdot p_e + e \cdot n^2 \cdot p_e + f \cdot p_e^2 \cdot n + g \cdot n^2 + h \cdot p_e^2)}{3600} \quad (59)$$

Kde n = otáčky motoru [1/min]; p_e = střední efektivní tlak [bar].

a a, b, c, d, e, f, g, h = vypočtené koeficienty polynomu.

Vztah dělíme 3600 kvůli přepočtu z [l/h] na [l/s].

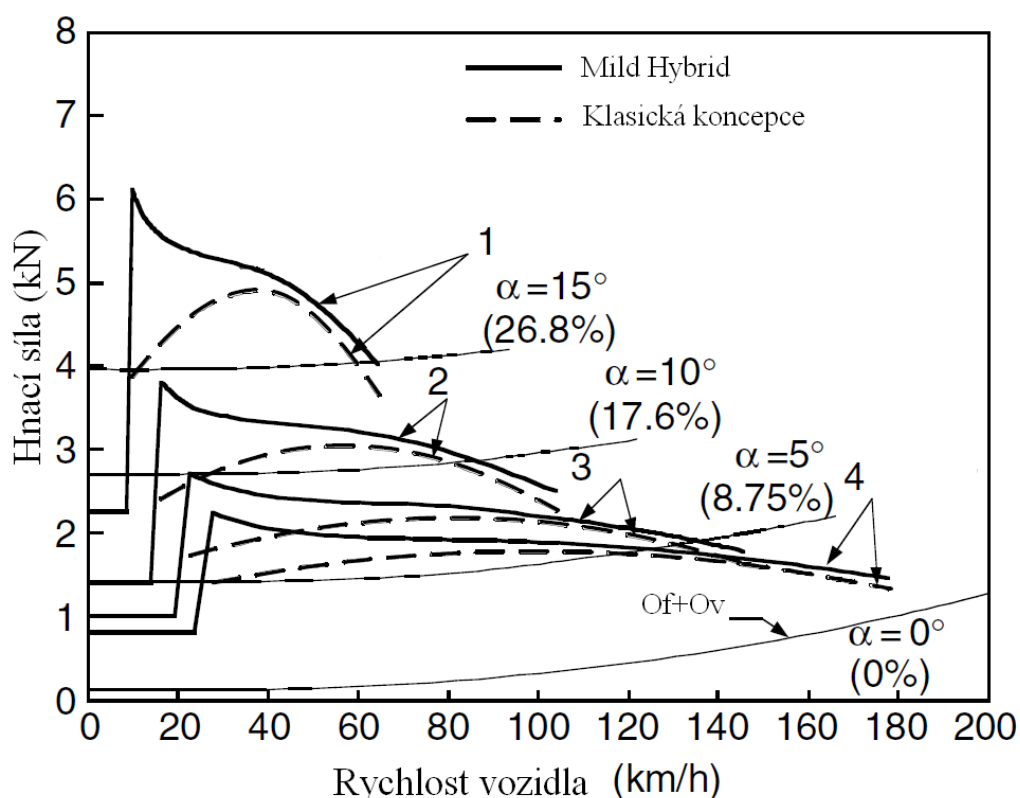
Mild Hybrid

U koncepcie Mild Hybrid je elektromotor umístěn mezi převodovkou a spalovacím motorem. Slouží zde především k asistenci spalovacímu motoru při rozjezdech a zrychlování. Vozidlo není schopno provozu čistě na elektrickou energii. Protože si výpočet Mild Hybridního uspořádání žádá značně složitý a těžko realizovatelný postup, uplatnil jsem pro výpočet určitá zjednodušení. Díky kterým je třeba brát výsledné hodnoty spíše jako informativní.

V prvním kroku si uživatel nastaví výkon přidaného elektromotoru P_{el} [kW]. Dále je třeba zadat navýšení hmotnosti vozidla m_{vmild} [kg], ve které zohledníme hmotnost přidaných prvků jako baterie a elektromotor. Pro simulaci jízdy Mild Hybridu předpokládáme, že spalovací motor je po celou dobu testovacího cyklu zapnutý a baterie jsou plně nabity. Důležitým předpokladem a zároveň zjednodušením pro simulaci je fakt, že veškeré rozjezdy a zrychlování vozidla, pro které je třeba efektivního výkonu spalovacího motoru menšího, než je výkon elektromotoru, uvažujeme elektrický provoz, tedy spotřebu pro volnoběžné otáčky spalovacího motoru. Posledním předpokladem je, že při zpomalování vozidla uvažujeme rekuperaci energie tak, že akumulátory budou mít vždy dostatek energie pro pohon elektromotoru.

Dynamické charakteristiky vozidla:

Dynamické charakteristiky vozidla s úpravou Mild Hybrid jsou pro výpočet značně komplikované, proto zde uvedu pouze příklad, jak taková hnací charakteristika vypadá v porovnání s hnací charakteristikou klasického vozidla.



Obr. 14, Hnací charakteristika Mild Hybridu [6]

Simulace jízdních cyklů NEFZ 2000 a FTP75:

Postup výpočtu je téměř shodný jako výpočet u klasické koncepce, proto zde uvedu pouze vztahy, které se změní.

Hnací síla F_k [N]:

Při výpočtu využívám podmínku, že při zařazeném neutrálu, je hnací síla $F_k = 0$ N. Musíme počítat s navýšením hmotnosti vozidla, použijeme proto vztah:

$$F_k = f \cdot (m_v + m_{vmild}) \cdot g + \frac{1}{2} \cdot \rho_{vz} \cdot c_x \cdot S_x \cdot v^2 + (m_v + m_{vmild}) \cdot a \cdot \zeta \quad (60)$$

Kde f = součinitel odporu valení [1]; m_v = hmotnost vozidla [kg]; m_{vmild} = navýšení hmotnosti vozidla [kg]; g = gravitační zrychlení [m/s^2]; ρ_{vz} = hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]; c_x = součinitel odporu vzduchu [1]; S_x = velikost čelní plochy vozidla [m^2]; v = rychlost vozidla [m/s]; a = zrychlení vozidla [m/s^2] a ζ = součinitel vlivu rotačních hmot [1].

Spotřeba paliva M_p [l/s]:

Pokud je zařazen neutrální (0), jsou otáčky motoru $n = 700$ 1/min a střední efektivní tlak $p_e = 0$ bar spotřeba je proto vypočtena pro volnoběžné otáčky motoru.

Pokud vozidlo zrychluje a zároveň platí podmínka že potřebný efektivní výkon spalovacího motoru P_e je menší, než je výkon elektromotoru P_{el} , bude vozidlo pohánět elektromotor a spotřeba bude vypočtena pro volnoběžné otáčky spalovacího motoru.

Pokud vozidlo zpomaluje, tzn. $v_1 > v_2$, uvažujeme regenerativní brzdění, je spotřeba paliva $M_p = 0$ l/s.

Neuvažujeme systém start & stop.

$$M_p = \frac{(a + b \cdot n + c \cdot p_e + d \cdot n \cdot p_e + e \cdot n^2 \cdot p_e + f \cdot p_e^2 \cdot n + g \cdot n^2 + h \cdot p_e^2)}{3600} \quad (61)$$

Kde n = otáčky motoru [1/min]; p_e = střední efektivní tlak [bar] a

a, b, c, d, e, f, g, h = vypočtené koeficienty polynomu.

Vztah dělíme 3600 kvůli přepočtu z [l/h] na [l/s].

3.5 Souhrn výsledných hodnot

Poslední a nejdůležitější částí programu je souhrn všech vypočtených hodnot, popřípadě různých grafů a charakteristik. Vypočtené hodnoty jsem pro celkovou přehlednost rozdělil na několik listů.

Dynamické charakteristiky vozidla:

Zde se nachází hodnoty maximální rychlosti [m/s; km/h; míle/h], zrychlení [m/s^2 ; mile/h^2] a stoupání [%; °] na daný rychlostní stupeň, seřazené do přehledných tabulek. Každý rychlostní stupeň má v tabulce přiděleno barevné označení shodné s označením v následujících grafech.

Dále se zde nachází výše zmiňované grafy: hnací charakteristika, dynamická charakteristika, závislost zrychlení a stoupání na rychlosti. Křivky představující daný rychlostní stupeň jsou pro přehlednost barevné.

Simulace jízdních cyklů NEFZ 2000 a FTP 75

Na těchto listech se nachází výčet stěžejních výsledků programu a porovnání klasické koncepce vozidla a úpravy Micro a Mild Hybrid.

Pro klasické vozidlo, úpravu Micro a Mild Hybrid jsou výsledky uvedeny v několika tabulkách, které zahrnují jak celý jízdní cyklus, tak jeho dané fáze (např. městskou a mimoměstskou, respektive cold start phase, transient phase a hot start phase). Samozřejmostí je graf závislosti rychlosti na čase pro daný cyklus. Výsledky jsou uváděny v metrických jednotkách a jednotkách používaných ve Spojených státech. Výsledkové tabulky jsou také k dispozici v přehledné verzi pro tisk, pro každý cyklus zvlášť nebo dohromady.

Výsledky pro klasické vozidlo:

- Doba trvání testu [s, min]
- Ujetá vzdálenost [km, míle]
- Průměrná rychlost [km/h; míle/h]
- Množství spotřebovaného paliva [l; galon]
- Průměrná spotřeba paliva [l/100km; míle/galon (MPG)]
- Množství vyprodukovaného CO_2 [kg; lb]
- Průměrná produkce CO_2 [gCO_2/km ; $\text{gCO}_2/\text{míle}$]

Výsledky pro úpravu Micro Hybrid:

Stejně jako pro klasické vozidlo, doplněné o údaje:

- Vypnutý motor po dobu [s, min]
- Úspora paliva (oproti klasickému vozidlu) [l; galon; %]
- Snížení produkce CO₂ [kg; lb; %]

Výsledky pro úpravu Mild Hybrid:

Stejně jako pro klasické vozidlo, doplněné o údaje:

- Úspora paliva (oproti klasickému vozidlu) [l; galon; %]
- Snížení produkce CO₂ [kg; lb; %]

Doplňkové grafy:

Ke každé úpravě vozidla jsou vytvořeny doplňkové grafy příslušného testovací cyklu které jsou navíc doplněny o průběh zrychlení, průběh hnací síly, průběh spotřeby paliva a průběh jízdní spotřeby paliva. U úpravy Micro Hybrid je navíc znázorněno, ve kterých fázích cyklu je motor vypnutý.

3.6 Ovládací prvky programu

Program je vytvořen tak, aby byl pro uživatele jednoduchý na ovládání a přehledný. Po spuštění je uživatel odkázán na úvodní stranu, kde se nachází hlavní nabídka funkcí. Přepínání mezi částmi programu je vyřešeno pomocí tlačítek, které přepínají jednotlivé listy. Základním tlačítkem na úvodní straně je “ZADÁNÍ HODNOT”. Tlačítko uživatele přepne na listy zadávacích tabulek, které je nutné vyplnit pro správnou funkci programu. Do zadávacích tabulek otáčkové a zatěžovací charakteristiky vyplní uživatel pouze tolik hodnot, kolik má k dispozici a zbývající tabulky nechá nevyplněné. Pomocí tlačítka „Zpět“ je možno se vrátit na předchozí list. Po vyplnění všech zadávacích tabulek se uživatel vrátí tlačítkem “Dokončit” na úvodní stranu.

V tuto chvíli má program všechny potřebné údaje pro správný výpočet výsledků. Tlačítko “Dynamické charakteristiky vozidla” zobrazí uživateli maximální hodnoty rychlosti, zrychlení a stoupání na daný rychlostní stupeň a příslušné charakteristiky popsané výše. Pod tlačítkem “Verze pro tisk” jsou všechny tyto tabulky a grafy v graficky zjednodušené podobě a zmenšeny pro tisk na formát stránky A4.

Tlačítka “Simulace jízdního cyklu NEFZ 2000” a “Simulace jízdního cyklu FTP75” zobrazí výše popsané výsledné hodnoty simulací jízdních cyklů pro jednotlivé úpravy vozidla. Každý jízdní cyklus obsahuje tlačítko “Verze pro tisk”, které přepne uživatele na přehledné a graficky zjednodušené výsledné hodnoty. Ke každé úpravě vozidla jsou pod tlačítkem “Ostatní grafy” vytvořeny výše popsané doplňkové grafy.

Tlačítko “Tisk zadaných hodnot” zobrazí všechny zadané hodnoty ve zjednodušené grafické úpravě pro tisk.

Tlačítko “Tisk všech výsledných hodnot” zobrazí všechny vypočtené hodnoty dynamických charakteristik a výsledky obou jízdních cyklů ve zjednodušené grafické verzi pro tisk.

Tlačítko “O programu” odkazuje na tuto práci.

Tímto je program kompletní a proto můžeme přejít k jeho použití pro skutečná vozidla.

4. Užití programu pro dané vozidlo

Vedle tvorby programu pro výpočet spotřeby paliva při jízdách cyklech, je cílem této práce také porovnání, z hlediska spotřeby paliva respektive úspory paliva, klasické koncepce vozidla a jeho úprav na stupně hybridizace Micro Hybrid a Mild Hybrid.

4.1 Parametry vozidla

Pro naše porovnání jsem zvolil automobil Škoda Fabia. Jedná se o 1. generaci tohoto vozu vyráběnou od roku 1999 do roku 2007. Vozidlo je osazeno benzínovým 3 válcovým motorem 1.2 HTP o maximálním výkonu 40 kW při 3750 otáčkách min^{-1} a 5 rychlostní převodovkou s označením 02T.

Pro úpravu automobilu na Micro Hybrid neuvažujeme navýšení hmotnosti.

Pro úpravu na Mild Hybrid jsem pro vozidlo navrhl 10kW asynchronní elektromotor.

Tento elektromotor a akumulátory navýší celkovou hmotnost vozidla o 100 kg.

Grafy otáčkové, zatěžovací charakteristiky a ostatních zadaných hodnot pro dané vozidlo jsou k nalezení v příloze.

4.2 Výsledné hodnoty NEFZ 2000

Výpis výsledků programu jízdního cyklu NEFZ 2000 je k nalezení v příloze.

Resumé výsledků NEFZ 2000

Klasická koncepce vozidla

Výsledky pro klasickou koncepci vozidla budeme v našem případě porovnávat, s výsledky které jsme dostali u hybridních úprav vozidla. Ujeté vzdálenosti a průměrné rychlosti budou pro všechna vozidla stejná, proto je uvedu pouze jednou.

Městský cyklus:

V městském cyklu vozidlo ujede dráhu 4,058 km průměrnou rychlostí 18,1 km/h. Spotřebuje 0,2524 l paliva a vyprodukuje 0,5489 kg CO₂. Z toho plyne, že průměrná spotřeba paliva je 6,22 l/100km a jízdní produkce CO₂ je 135,256 gCO₂/km

Mimoměstský cyklus:

V mimoměstském cyklu vozidlo ujede dráhu 6,955 km průměrnou rychlostí 62,44 km/h. Spotřebuje 0,3417 l paliva a vyprodukuje 0,7430 kg CO₂. Z toho vyplývá, že průměrná spotřeba paliva je 4,913 l/100km a jízdní produkce CO₂ je 106,834 gCO₂/km.

Celý cyklus:

Během celého cyklu skládajícího se z výše jmenovaných, ujede vozidlo dráhu 11,013 km průměrnou rychlostí 33,6 km/h. Spotřebuje 0,5940 l paliva a vyprodukuje 1,2917 kg CO₂. Z toho je plyne, že průměrná spotřeba paliva je 5,3939 l/100km a jízdní produkce činí CO₂ 117,290 gCO₂/km.

Spalovací motor je po celou dobu nastartován.

Vozidlo s úpravou Micro Hybrid (Start & stop)

Městský cyklus:

V městském cyklu bude při uvažování start & stop systému spalovací motor při zastavení vozidla a zařazení neutrálu vypnutý po dobu 4.1 min. Což při době trvání městského cyklu 13 min představuje téměř 1/3 doby trvání. Vozidlo spotřebuje 0,2311 l paliva a vyprodukuje 0,5025 kg CO₂, což představuje snížení 8,46 % oproti klasické koncepci. Z toho plyne, že průměrná spotřeba paliva se snížila na 5,693 l/100km a jízdní produkce CO₂ je 123,814 gCO₂/km

Mimoměstský cyklus:

V mimoměstském cyklu se systém start & stop uplatní v minimální možné míře. V tomto případě pouze při počátečním stání, což činí dobu 41 sekund. Při tomto cyklu vozidlo spotřebuje 0,3381 l paliva a vyprodukuje 0,7352 kg CO₂, což představuje téměř zanedbatelnou úsporu 1,05 % oproti klasické koncepci. Z toho vyplývá, že průměrná spotřeba paliva je 4,8612 l/100km a průměrná jízdní produkce CO₂ je 105,708 gCO₂/km.

Celý cyklus:

Během celého cyklu byl spalovací motor cca 1/4 času vypnutý. Vozidlo během celého cyklu spotřebuje 0,5692 l paliva a vyprodukuje 1,2376 kg CO₂, což představuje snížení 4,19% oproti klasické koncepci. Z toho vyplývá, že průměrná spotřeba paliva je 5,1681 l/100km a průměrná jízdní produkce CO₂ je 112,38 gCO₂/km.

Vozidlo s úpravou Mild Hybrid**Městský cyklus:**

V městském cyklu, bude vozidlo pohánět elektromotor, pokud požadovaný výkon nepřesáhne 10 kW. Vozidlo spotřebuje 0,2118 l paliva a vyprodukuje 0,4814 kg CO₂, což představuje snížení 16 % oproti klasické koncepci. Průměrná spotřeba paliva tedy poklesne na 5,219/100km a jízdní produkce CO₂ na 118,622 gCO₂/km.

Mimoměstský cyklus:

Navýšení hmotnosti vozidla v kombinaci s minimálním počtem rozjezdů, respektive využitím elektromotoru v mimoměstském cyklu způsobí, že vozidlo spotřebuje 0,3488 l paliva a vyprodukuje 0,7929 kg CO₂, což představuje navýšení o téměř 2 % oproti klasické koncepci. Zde je nejvíc patrné, že hybridní automobily fungují nejefektivněji ve městech. Průměrná spotřeba paliva vzrostla na 5,016 l/100km a jízdní produkce CO₂ na 114,008 gCO₂/km.

Celý cyklus:

Během celého cyklu vozidlo spotřebovalo 0,5606 l paliva a vyprodukovalo 1,2741 kg CO₂, což představuje úsporu 5,6 % oproti klasické koncepci vozidla. Průměrná spotřeba paliva se snížila na 5,09 l/100 km a jízdní produkce CO₂ poklesne na 115,69 gCO₂/km. Spalovací motor bude po celou dobu nastartován.

4.3 Výsledné hodnoty FTP 75

Výpis výsledků programu jízdního cyklu FTP 75 je k nalezení v příloze.

Resumé výsledků FTP 75

Klasická koncepce vozidla

Výsledky pro klasickou koncepci vozidla budeme jako v předchozím případě porovnávat vůči výsledkům které jsme dostali u hybridních úprav vozidla. Ujeté vzdálenosti a průměrné rychlosti budou pro všechna vozidla stejné, proto je uvedu pouze jednou.

Cold start phase:

V části cold start phase vozidlo ujede dráhu 6,211 km průměrnou rychlostí 41,12 km/h. Spotřebuje 0,2828 l paliva a vyprodukuje 0,6151 kg CO₂. Z toho plyne, že průměrná spotřeba paliva je 4,5539 l/100km a jízdní produkce CO₂ je 99,026 gCO₂/km

Transient phase:

V části transient phase vozidlo ujede dráhu 6,211 km průměrnou rychlostí 25,7 km/h. Spotřebuje 0,3368 l paliva a vyprodukuje 0,7323 kg CO₂. Z toho vyplývá, že průměrná spotřeba paliva je 5,422 l/100km a jízdní produkce CO₂ je 117,902 gCO₂/km.

Hot start phase:

V části hot start phase vozidlo ujede dráhu 5,779 km průměrnou rychlostí 41,12 km/h. Spotřebuje 0,2828 l paliva a vyprodukuje 0,6151 kg CO₂. Z toho vyplývá, že průměrná spotřeba paliva je 4,892 l/100km a jízdní produkce CO₂ je 106,426 gCO₂/km.

Celý cyklus:

Během celého cyklu skládajícího se z výše jmenovaných, ujede vozidlo dráhu 17,769 km průměrnou rychlostí 34,03 km/h. Spotřebuje 0,9023 l paliva a vyprodukuje 1,9621 kg CO₂. Z toho je patrné, že průměrná spotřeba paliva je 5,078 l/100km a jízdní produkce činí CO₂ 110,422 gCO₂/km.

Spalovací motoru je opět po celou dobu nastartován.

Vozidlo s úpravou Micro Hybrid (Start & stop)

Cold start phase:

V části cold start phase bude při uvažování start&stop systému spalovací motor při zastavení vozidla a zařazení neutrálu vypnutý po dobu 90 s. Vozidlo spotřebuje 0,2732 l paliva a vyprodukuje 0,5942 kg CO₂, což představuje snížení 3,4 % oproti klasické kon-

cepci. Z toho plyne, že průměrná spotřeba paliva se snížila na 4,3993 l/100km a jízdní produkce CO₂ je 95,664 gCO₂/km

Transient phase:

V části transient phase bude motor vypnutý po dobu 2,55 min. Při tomto cyklu vozidlo spotřebuje 0,3214 l paliva a vyprodukuje 0,6988 kg CO₂, což představuje úsporu 4,5% oproti klasické koncepci. Z toho vyplývá, že průměrná spotřeba paliva je 5,1741 l/100km a průměrná jízdní produkce CO₂ je 112,512 gCO₂/km.

Hot start phase:

V části hot start phase bude při uvažování start & stop systému spalovací motor při zastavení vozidla a zařazení neutrálu vypnutý po dobu 90 s. Vozidlo spotřebuje 0,2732 l paliva a vyprodukuje 0,5942 kg CO₂, což představuje snížení 3,4 % oproti klasické koncepci. Z toho plyne, že průměrná spotřeba paliva se snížila na 4,7821 l/100km a jízdní produkce CO₂ je 102,813 gCO₂/km

Celý cyklus:

Během celého cyklu je spalovací motor cca 1/6 z celkového času vypnutý. Vozidlo během celého cyklu spotřebuje 0,8679 l paliva a vyprodukuje 1,8872 kg CO₂, což představuje snížení 3,8 % oproti klasické koncepci. Z toho vyplývá, že průměrná spotřeba paliva je 4,884 l/100km a průměrná jízdní produkce CO₂ je 106,203 gCO₂/km.

Vozidlo s úpravou Mild Hybrid

Cold start phase:

V části cold start phase bude vozidlo pohánět elektromotor, pokud požadovaný výkon nepřesáhne 10 kW. Vozidlo spotřebuje 0,2471 l paliva a vyprodukuje 0,5616 kg CO₂, což představuje snížení o 12,6 %. Průměrná spotřeba paliva tedy poklesne na 3,9782 l/100km a jízdní produkce CO₂ na 90,42 gCO₂/km.

Transient phase:

Vysoký počet rozjezdů a zrychlování vozidla s potřebným výkonem nižším než 10 kW způsobí, že vozidlo spotřebuje pouze 0,2 l paliva a vyprodukuje 0,3107 kg CO₂, což představuje značné snížení o 40,59 % oproti klasické koncepci. Zde je nejvíc patrné, že hybridní automobily fungují neefektivněji při častých rozjezdech. Průměrná spotřeba paliva klesla na 3,221 l/100km a jízdní produkce CO₂ na 73,218 gCO₂/km.

Hot start phase:

V části cold start phase bude vozidlo pohánět elektromotor, pokud požadovaný výkon nepřesáhne 10 kW. Vozidlo spotřebuje 0,2471 l paliva a vyprodukuje 0,5616 kg CO₂, což představuje snížení o 12,6 %. Průměrná spotřeba paliva tedy poklesne na 4,2755 l/100km a jízdní produkce CO₂ na 97,177 gCO₂/km.

Celý cyklus:

Během celého cyklu vozidlo spotřebuje 0,6941 l paliva a vyprodukuje 1,5766 kg CO₂, což představuje značné snížení 23 % oproti klasické koncepci. Z toho vyplývá, že průměrná spotřeba paliva je 3,906 l/100km a průměrná jízdní produkce CO₂ je 88,78 gCO₂/km.

4.4 Porovnání hybridních úprav

JÍZDNÍ CYKLUS NEFZ 2000		
Úspora paliva	Micro Hybrid [%]	Mild Hybrid [%]
Celý cyklus	4,19	5,63
Městský cyklus	8,46	16,09
Mimoměstský cyklus	1,05	-2,10

JÍZDNÍ CYKLUS FTP 75		
Úspora paliva	Micro Hybrid [%]	Mild Hybrid [%]
Celý cyklus	3,82	23,08
Cold start phase	3,4	12,64
Transient phase	4,57	40,59
Hot start phase	3,4	12,64

Tab. 2 a Tab. 10, porovnání hybridních úprav

Výše uvedené tabulky uvádějí procentuální úsporu paliva při jízdních cyklech.

5. Závěr

Při používání programu je třeba mít na paměti, že se jedná o zjednodušený výpočet. Pro jeho tvorbu byly použity různé podmínky a zjednodušení, které mohou způsobit nepřesnosti výsledků. Například program nerozlišuje zahřátý či studený motor, který produkuje vyšší emise nebo nepočítá s větším množstvím vstříknutého paliva při startování motoru. Avšak nehledě na použitá zjednodušení, program nabízí ucelené a přehledné informace o dynamických vlastnostech automobilu nebo spotřebě paliva při testovacích jízdních emisních cyklech NEFZ 2000 a FTP 75 pro klasickou koncepci vozidla a její úpravy na stupně hybridizace Micro a Mild.

Hodnoty, které nám vyšly, potvrdily skutečnost, že hybridní automobily fungují nejefektivněji v městském provozu.

Micro Hybrid uplatňuje v městském provozu start & stop systém, díky kterému může být spalovací motor při celodenním provozu vypnutý až několik hodin.

Mild Hybrid dokáže při provozu ve městě, díky elektromotorem asistovaných rozjezdech a regenerativních brzděních uspořit, až 16 % paliva. Nesmíme však opomenout fakt, že s úpravami Mild Hybrid a vyššími roste hmotnost i vozidla, což se např. projevilo např. v mimoměstském cyklu, testu NEFZ 2000, kdy spotřeba paliva vzrostla o 2 %. Pro výpočet Mild Hybridu byla použita určitá zjednodušení, v důsledku kterých je charakter výsledků spíše informativní.

Vyšší stupně hybridizace jako Full a Plug-in Hybrid obsahují sofistikované systémy pohonu, díky kterým taková vozidla dosahují ještě lepších výsledků v městském provozu, než výše jmenované stupně.

Avšak při vyšších rychlostech v mimoměstském provozu jsou poháněny pouze spalovacím motorem, který má dostatečný výkon k vytvoření takové hnací síly, jejíž velikost je větší než součet odporových sil. Jednou z jejich složek je i velikost síly odporu vzduchu, která roste s kvadrátem rychlosti vozidla. Z toho plyne, že mají srovnatelnou spotřebu, s moderními vozidly s klasickou koncepcí.

Dle mého názoru představují hybridní vozidla užitečný mezistupeň k vývoji vozidla s čistě elektrickým pohonem. Je však třeba se na celou věc dívat komplexně. Ačkoliv hybridní vozidlo produkuje relativně menší množství emisí, tak výroba elektřiny, kterou budeme dobíjet akumulátory, produkuje další emise, stejně jako výroba samotných akumulátorů a dalších komponentů. S lepší cenovou politikou by tato vozidla mohla být dobrým řešením.

Seznam použité literatury

1. F.Vlk: Alternativní pohony motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno 2004.
2. S. Beroun – C. Scholz: Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů, TUL, Liberec 2001
3. P. Vysoký: Perspektivy hybridních vozidel. Automatizace [online]. 2006, roč. 49, č. 12, str. 760. Článek dostupný na: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1544>
4. J. Lasík, Porsche postavilo hybrid už před 110 lety. Článek dostupný na: <http://www.autokaleidoskop.cz/Historie/Porsche-postavilo-hybrid-uz-pred-110-lety/>
5. Hybridní automobily 2. Článek dostupný na: <http://baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobil-2/>
6. P. Biskup, Hybridní pohony. Článek dostupný na: <http://www.automotorevue.cz/auto/technika/hybridni-pohony.html>
7. History of Hybrid Vehicles. Článek dostupný na: <http://www.hybridcars.com/history/history-of-hybrid-vehicles.html>

Zdroje obrázků

- 1) J. Lasík, Porsche postavilo hybrid už před 110 lety. Článek dostupný na: <http://www.autokaleidoskop.cz/Historie/Porsche-postavilo-hybrid-uz-pred-110-lety/>
- 2) Audi Concept Study. Dostupný na: http://www.audi.com/com/brand/en/experience/design_technology/design_studies/q7_hybrid_concept.tab_0004.html
- 3) History of the Hybrid. Dostupný na: <http://www.modernracer.com/features/historyofthehybrid2.html>
- 4) Dostupný na: <http://www.webridestv.com/photos/bmw-activehybrid-7-206770/9>
- 5) Dostupný na: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Toyota_1NZ-FXE_Engine_01.JPG
- 6) M. Ehsani [et al.]: Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: fundamentals, theory and design, CRC Press LLC, 2005, str. 288

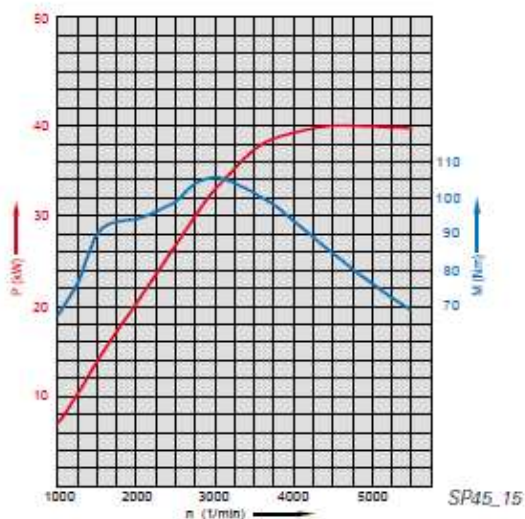
Seznam příloh

PŘÍLOHA 1 – OTÁČKOVÁ CHARAKTERISTIKA MOTORU 1.2 HTP 40KW	I
PŘÍLOHA 2 – ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA MOTORU 1.2 HTP 40KW	II
PŘÍLOHA 3 – HODNOTY ZADANÉ PROGRAMU	III
PŘÍLOHA 4 – VÝSLEDKY NEFZ 2000 – VOZIDLO S KLASICKOU KONCEPCÍ.....	IV
PŘÍLOHA 5 – VÝSLEDKY NEFZ 2000 – VOZIDLO S ÚPRAVOU MICRO HYBRID	V
PŘÍLOHA 6 – VÝSLEDKY NEFZ 2000 – VOZIDLO S ÚPRAVOU MILD HYBRID.....	VI
PŘÍLOHA 7 – VÝSLEDKY FTP 75 – VOZIDLO S KLASICKOU KONCEPCÍ.....	VII
PŘÍLOHA 8 – VÝSLEDKY FTP 75 – VOZIDLO S ÚPRAVOU MICRO HYBRID	VIII
PŘÍLOHA 9 – VÝSLEDKY FTP 75 – VOZIDLO S ÚPRAVOU MILD HYBRID.....	IX

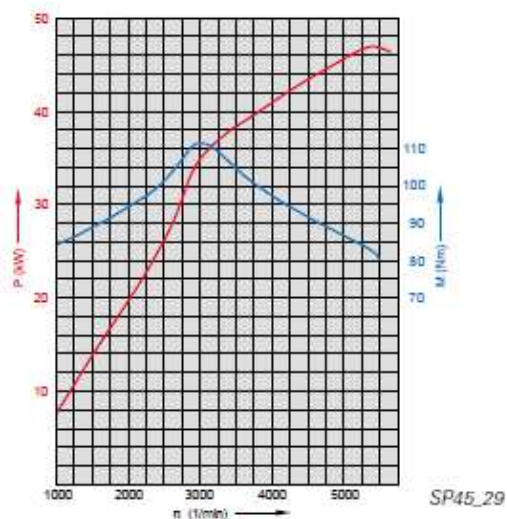
Příloha 1 – Otáčková charakteristika motoru 1.2 HTP 40kW

Technické údaje

Charakteristika motoru - AWY



Charakteristika motoru - AZQ



Kód motoru	AWY	AZQ
konstrukce	3válcový řadový motor 2 ventily na válec	3válcový řadový motor 4 ventily na válec
obsah	1198 cm ³	1198 cm ³
vtání	76,5 mm	76,5 mm
zdvih	86,9 mm	86,9 mm
kompresní poměr	10,3 : 1	10,5 : 1
max. výkon	40 kW při 4750 min ⁻¹	47 kW při 5400 min ⁻¹
max. krouticí moment	106 Nm při 3000 min ⁻¹	112 Nm při 3000 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Simos 3PD (vícebodové vstřikování)	Simos 3PE (vícebodové vstřikování)
palivo	bezolovnatý benzin s okt. č. 95 (je možno použít i benzin s okt. č. 91, ale výkon motoru bude nižší)	bezolovnatý benzin s okt. č. 95 (je možno použít i benzin s okt. č. 91, ale výkon motoru bude nižší)
emisní norma	EU4	EU4

Příloha 2 – Zatěžovací charakteristika motoru 1.2 HTP 40kW

DURCHSATZKENNFELD

SK240 – SK1.2LTR 40KW 2V 3Z – M5 02T 68/15 GTB310013G – 19. 2.2003

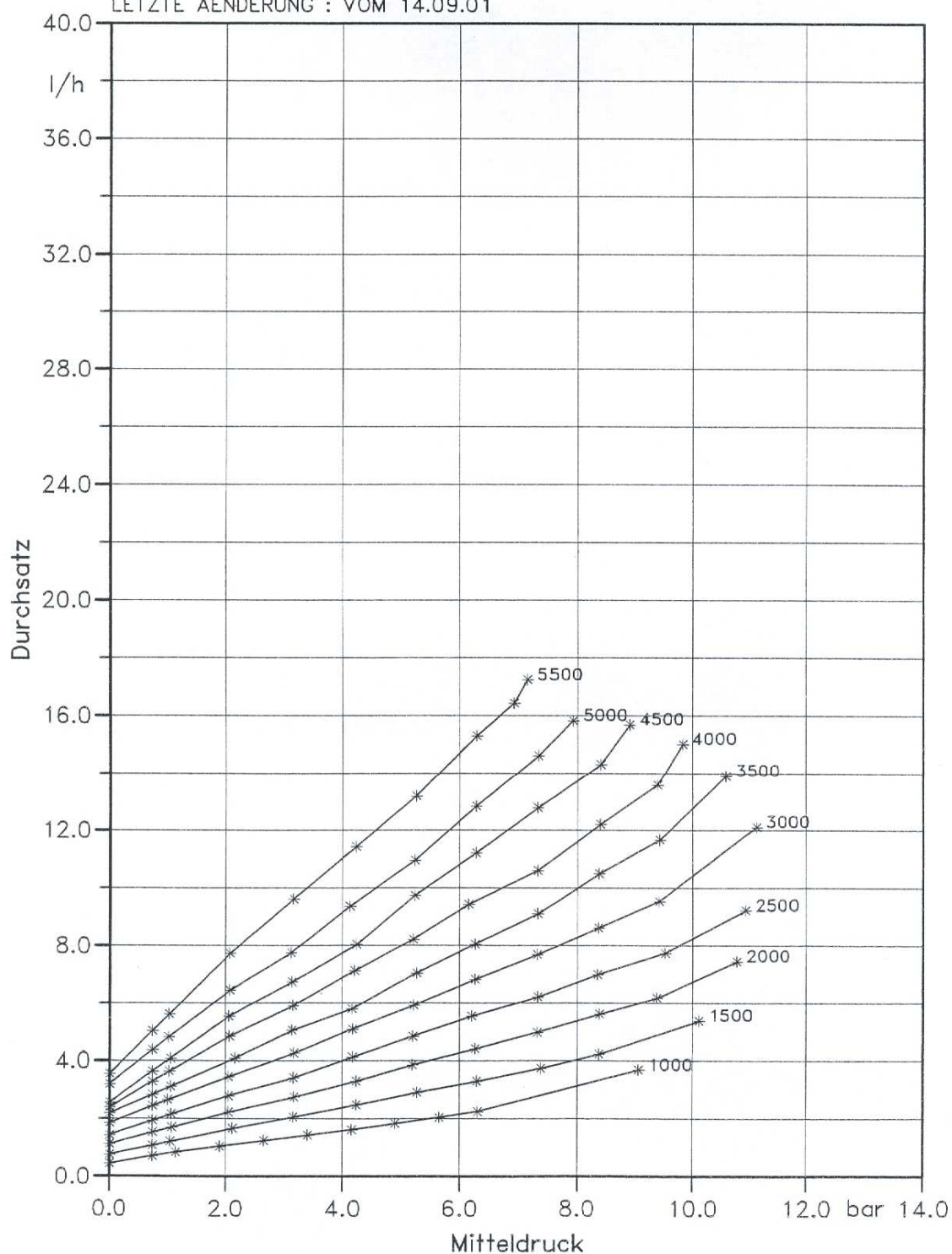
1.198 L– 40.0 KW BEI 4500/MIN

MOTORBEZEICHNUNG : 111. 03D

KENNFELDDATEI : SK01240

KENNFELD :

LETZTE AENDERUNG : VOM 14.09.01



Příloha 3 – Hodnoty zadané programu

PARAMETRY VOZIDLA

Zdvihový objem motoru $[dm^3]$:	1,198
Hmotnost vozidla $m_p [kg]$:	1265,00
Součinitel odporu vzduchu $c_x [-]$:	0,330
Součinitel odporu valení $f [-]$:	0,012
Velikost čelní plochy vozidla $S_x [m^2]$:	2,000
Poloměr kol $r_k [m]$:	0,356
Setrvačný moment motoru $J_m [kg \cdot m^2]$:	0,200
Moment setrvačnosti kol $\Sigma J_k [kg \cdot m^2]$:	2,638

PARAMETRY PŘEVODOVKY

Mechanická účinnost přenosu energie $\eta_{mech} [-]$:	0,90
Převodové číslo 1. rychlostního stupně $i_1 [-]$:	3,4545
Převodové číslo 2. rychlostního stupně $i_2 [-]$:	1,9545
Převodové číslo 3. rychlostního stupně $i_3 [-]$:	1,2813
Převodové číslo 4. rychlostního stupně $i_4 [-]$:	0,9268
Převodové číslo 5. rychlostního stupně $i_5 [-]$:	0,7400
Převodové číslo stálého převodu $i_s [-]$:	4,5333

PARAMETRY PROSTŘEDÍ

Hustota vzduchu $\rho_{vz} [kg \cdot m^{-3}]$:	1,189
Gravitační zrychlení $g [m/s^2]$:	9,81

VLASTNOSTI PALIVA

Druh paliva	:	benzín
Hustota paliva $\rho_p [kg \cdot m^{-3}]$:	725

PARAMETRY ÚPRAVY MILD HYBRID

Výkon elektromotoru $P_e [kW]$:	10
Navýšení hmotnosti vozidla $m_{vmild} [kg]$:	100

Příloha 4 – Výsledky NEFZ 2000 – Vozidlo s klasickou koncepcí

CELÝ CYKLUS

Doba trvání testu	:	1180	s	19,67	min
Ujetá vzdálenost	:	11,013	km	6,843	míle
Průměrná rychlost	:	33,60	km/h	20,88	míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,5940	l	0,1569	galon
Průměrná spotřeba paliva	:	5,3939	l/100km	43,6078	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	1,2917	kg	2,848	lb
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	117,290	gCO ₂ /km	188,761	gCO ₂ /míle

MĚSTSKÝ CYKLUS

Doba trvání testu	:	780	s	13,00	min
Ujetá vzdálenost	:	4,058	km	2,522	míle
Průměrná rychlost	:	18,73	km/h	11,64	míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2524	l	0,0667	galon
Průměrná spotřeba paliva	:	6,2200	l/100km	37,8156	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,5489	kg	1,210	lb
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	135,256	gCO ₂ /km	217,674	gCO ₂ /míle

MIMOMĚSTSKÝ CYKLUS

Doba trvání testu	:	400	s	6,67	min
Ujetá vzdálenost	:	6,955	km	4,321	míle
Průměrná rychlost	:	62,44	km/h	38,80	míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,3417	l	0,0903	galon
Průměrná spotřeba paliva	:	4,9130	l/100km	47,8758	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,7430	kg	1,638	L b
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	106,834	gCO ₂ /km	171,934	gCO ₂ /míle

Příloha 5 – Výsledky NEFZ 2000 – Vozidlo s úpravou Micro Hybrid

CELÝ CYKLUS

Doba trvání testu	:	1180	s	19,67	min	
Ujetá vzdálenost	:	11,013	km	6,843	míle	
Průměrná rychlost	:	33,60	km/h	20,88	míle/h	
Vypnutý motor po dobu	:	283	s	4,72	min	
Množství spotřebovaného paliva	:	0,5692	l	0,1504	galon	
Úspora paliva	:	0,0249	l	0,0066	galon	4,19 %
Průměrná spotřeba paliva	:	5,1681	l/100km	45,5132	MPG	
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	1,2376	kg	2,729	lb	
Snížení produkce CO ₂	:	0,0541	kg	0,119	lb	4,19 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	112,380	gCO ₂ /km	180,859	gCO ₂ /míle	

MĚSTSKÝ CYKLUS

Doba trvání testu	:	780	s	13,00	min	
Ujetá vzdálenost	:	4,058	km	2,522	míle	
Průměrná rychlost	:	18,73	km/h	11,64	míle/h	
Motor vypnut po dobu	:	246	s	4,10	min	
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2311	l	0,0610	galon	
Úspora paliva	:	0,0214	l	0,0056	galon	8,46 %
Průměrná spotřeba paliva	:	5,6939	l/100km	41,3101	MPG	
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,5025	kg	1,108	lb	
Snížení produkce CO ₂	:	0,0464	kg	0,102	lb	8,46 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	123,814	gCO ₂ /km	199,260	gCO ₂ /míle	

MIMOMĚSTSKÝ CYKLUS

Doba trvání testu	:	400	s	6,67	min	
Ujetá vzdálenost	:	6,955	km	4,321	míle	
Průměrná rychlost	:	62,44	km/h	38,80	míle/h	
Motor vypnut po dobu	:	41	s	0,68	min	
Množství spotřebovaného paliva	:	0,3381	l	0,0893	galon	
Úspora paliva	:	0,0036	l	0,0010	galon	1,05 %
Průměrná spotřeba paliva	:	4,8612	l/100km	48,3860	MPG	
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,7352	kg	1,621	lb	
Snížení produkce CO ₂	:	0,008	kg	0,017	lb	1,05 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	105,708	gCO ₂ /km	170,121	gCO ₂ /míle	

Příloha 6 – Výsledky NEFZ 2000 – Vozidlo s úpravou Mild Hybrid

CELÝ CYKLUS

Doba trvání testu	:	1180	s	19,67	min	
Ujetá vzdálenost	:	11,013	km	6,843	míle	
Průměrná rychlost	:	33,60	km/h	20,88	míle/h	
Množství spotřebovaného paliva	:	0,5606	l	0,1481	galon	
Úspora paliva	:	0,0335	l	0,0088	galon	5,63 %
Průměrná spotřeba paliva	:	5,0900	l/100km	46,2108	MPG	
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	1,2741	kg	2,809	lb	
Snížení produkce CO ₂	:	0,0761	kg	0,168	lb	5,63 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	115,690	gCO ₂ /km	186,186	gCO ₂ /míle	

MĚSTSKÝ CYKLUS

Doba trvání testu	:	780	s	13,00	min	
Ujetá vzdálenost	:	4,058	km	2,522	míle	
Průměrná rychlost	:	18,73	km/h	11,64	míle/h	
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2118	l	0,0560	galon	
Úspora paliva	:	0,0406	l	0,0107	galon	16,09 %
Průměrná spotřeba paliva	:	5,2190	l/100km	45,0685	MPG	
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,4814	kg	1,061	lb	
Snížení produkce CO ₂	:	0,0923	kg	0,204	lb	16,09 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	118,622	gCO ₂ /km	190,905	gCO ₂ /míle	

MIMOMĚSTSKÝ CYKLUS

Doba trvání testu	:	400	s	6,67	min	
Ujetá vzdálenost	:	6,955	km	4,321	míle	
Průměrná rychlost	:	62,44	km/h	38,80	míle/h	
Množství spotřebovaného paliva	:	0,3488	l	0,0922	galon	
Úspora paliva	:	-0,0072	l	-0,0019	galon	-2,10 %
Průměrná spotřeba paliva	:	5,0160	l/100km	46,8926	MPG	
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,7929	kg	1,748	lb	
Snížení produkce CO ₂	:	-0,0163	kg	-0,0359	lb	-2,10 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	114,008	gCO ₂ /km	183,478	gCO ₂ /míle	

Příloha 7 – Výsledky FTP 75 – Vozidlo s klasickou koncepcí

CELÝ CYKLUS				
Doba trvání testu	:	1879	s	31,32 min
Ujetá vzdálenost	:	17,769	km	11,041 míle
Průměrná rychlost	:	34,03	km/h	21,14 míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,9023	l	0,2384 galon
Průměrná spotřeba paliva	:	5,0780	l/100km	46,3202 MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	1,9621	kg	4,326 lb
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	110,422	gCO ₂ /km	177,708 gCO ₂ /míle
COLD START PHASE				
Doba trvání testu	:	505	s	8,42 min
Ujetá vzdálenost	:	6,211	km	3,859 míle
Průměrná rychlost	:	41,12	km/h	25,55 míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2828	l	0,0747 galon
Průměrná spotřeba paliva	:	4,5539	l/100km	51,6510 MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,6151	kg	1,356 lb
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	99,026	gCO ₂ /km	159,367 gCO ₂ /míle
TRANSIENT PHASE				
Doba trvání testu	:	869	s	14,48 min
Ujetá vzdálenost	:	6,211	km	3,859 míle
Průměrná rychlost	:	25,70	km/h	15,97 míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,3368	l	0,0890 galon
Průměrná spotřeba paliva	:	5,4220	l/100km	43,3815 MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,7323	kg	1,614 lb
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	117,902	gCO ₂ /km	189,746 gCO ₂ /míle
HOT START PHASE				
Doba trvání testu	:	505	s	8,42 min
Ujetá vzdálenost	:	5,779	km	3,591 míle
Průměrná rychlost	:	41,12	km/h	25,55 míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2828	l	0,0747 galon
Průměrná spotřeba paliva	:	4,8942	l/100km	48,0596 MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,6151	kg	1,356 lb
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	106,426	gCO ₂ /km	171,276 gCO ₂ /míle

Příloha 8 – Výsledky FTP 75 – Vozidlo s úpravou Micro Hybrid

CELÝ CYKLUS					
Doba trvání testu	:	1879	s	31,32	min
Ujetá vzdálenost	:	17,769	km	11,041	míle
Průměrná rychlost	:	34,03	km/h	21,14	míle/h
Vypnutý motor po dobu	:	331	s	5,52	min
Množství spotřebovaného paliva	:	0,8679	l	0,2293	galon
Úspora paliva	:	0,0345	l	0,0091	galon 3,82 %
Průměrná spotřeba paliva	:	4,8840	l/100km	48,1605	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	1,9725	kg	4,349	lb
Snížení produkce CO ₂	:	0,0784	kg	0,173	lb 3,82 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	111,007	gCO ₂ /km	178,648	gCO ₂ /míle
COLD START PHASE					
Doba trvání testu	:	505	s	8,42	min
Ujetá vzdálenost	:	6,211	km	3,859	míle
Průměrná rychlost	:	41,116858	km/h	25,55	míle/h
Vypnutý motor po dobu	:	90	s	1,50	min
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2732	l	0,0722	galon
Úspora paliva	:	0,0096	l	0,0025	galon 3,40 %
Průměrná spotřeba paliva	:	4,3993	l/100km	53,4662	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,6211	kg	1,369	lb
Snížení produkce CO ₂	:	0,0218	kg	0,048	lb 3,40 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	99,991	gCO ₂ /km	160,920	gCO ₂ /míle
TRANSIENT PHASE					
Doba trvání testu	:	869	s	14,48	min
Ujetá vzdálenost	:	6,211	km	3,859	míle
Průměrná rychlost	:	25,701	km/h	15,97	míle/h
Motor vypnut po dobu	:	153	s	2,55	min
Množství spotřebovaného paliva	:	0,3214	l	0,0849	galon
Úspora paliva	:	0,0154	l	0,0041	galon 4,57 %
Průměrná spotřeba paliva	:	5,1741	l/100km	45,4601	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,7304	kg	1,610	lb
Snížení produkce CO ₂	:	0,0350	kg	0,077	lb 4,57 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	117,601	gCO ₂ /km	189,260	gCO ₂ /míle
HOT START PHASE					
Doba trvání testu	:	505	s	8,42	min
Ujetá vzdálenost	:	5,779	km	3,591	míle
Průměrná rychlost	:	41,116858	km/h	25,55	míle/h
Motor vypnut po dobu	:	90	s	1,50	min
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2732	l	0,0722	galon
Úspora paliva	:	0,0096	l	0,0025	galon 3,40 %
Průměrná spotřeba paliva	:	4,7281	l/100km	49,7485	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,6211	kg	1,369	lb
Snížení produkce CO ₂	:	0,0218	kg	0,048	lb 3,40 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	107,463	gCO ₂ /km	172,945	gCO ₂ /míle

Příloha 9 – Výsledky FTP 75 – Vozidlo s úpravou Mild Hybrid

CELÝ CYKLUS					
Doba trvání testu	:	1879	s	31,32	min
Ujetá vzdálenost	:	17,769	km	11,041	mil
Průměrná rychlost	:	34,03	km/h	21,14	míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,6941	l	0,1834	galon
Úspora paliva	:	0,2082	l	0,0550	galon 23,08 %
Průměrná spotřeba paliva	:	3,9061	l/100km	60,2176	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	1,5776	kg	3,478	lb
Snížení produkce CO ₂	:	0,4733	kg	1,043	lb 23,08 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	88,780	gCO ₂ /km	142,878	gCO ₂ /míle

COLD START PHASE					
Doba trvání testu	:	505	s	8,42	min
Ujetá vzdálenost	:	6,211	km	3,859	míle
Průměrná rychlost	:	41,12	km/h	25,55	míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2471	l	0,0653	galon
Úspora paliva	:	0,0358	l	0,0094	galon 12,64 %
Průměrná spotřeba paliva	:	3,9782	l/100km	59,1255	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,5616	kg	1,238	lb
Snížení produkce CO ₂	:	0,0813	kg	0,179	lb 12,64 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	90,420	gCO ₂ /km	145,517	gCO ₂ /míle

TRANSIENT PHASE					
Doba trvání testu	:	869	s	14,48	min
Ujetá vzdálenost	:	6,211	km	3,859	míle
Průměrná rychlost	:	25,70	km/h	15,97	míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2001	l	0,0529	galon
Úspora paliva	:	0,1367	l	0,0361	galon 40,59 %
Průměrná spotřeba paliva	:	3,2214	l/100km	73,0162	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,4548	kg	1,003	lb
Snížení produkce CO ₂	:	0,3107	kg	0,685	lb 40,59 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	73,218	gCO ₂ /km	117,834	gCO ₂ /míle

HOT START PHASE					
Doba trvání testu	:	505	s	8,42	min
Ujetá vzdálenost	:	5,779	km	3,591	míle
Průměrná rychlost	:	41,12	km/h	25,55	míle/h
Množství spotřebovaného paliva	:	0,2471	l	0,0653	galon
Úspora paliva	:	0,0358	l	0,0094	galon 12,64 %
Průměrná spotřeba paliva	:	4,2755	l/100km	55,0143	MPG
Množství vyprodukovaného CO ₂	:	0,5616	kg	1,238	lb
Snížení produkce CO ₂	:	0,0813	kg	0,179	lb 12,64 %
Průměrná jízdní produkce CO ₂	:	97,177	gCO ₂ /km	156,392	gCO ₂ /míle